

UNTERSUCHUNGEN
ZUR KÖRPERTEMPERATUR
VON WEISSBÜSCHELÄFFCHEN
(CALLITHRIX JACCHUS) MIT HILFE
EINES NEU ENTWICKELTEN
TELEMETRIESYSTEMS

Johann Georg Maier

Disbui. Mu"nschen

1988

Aus dem Institut für
Physiologie, Physiologische Chemie und Ernährungsphysiologie
der Tierärztlichen Fakultät der Universität München
Geschäftsführender Vorstand: Prof. Dr. H. Zucker

Angefertigt unter Leitung von
Prof. Dr. Dr. habil. H. Petry

UNTERSUCHUNGEN ZUR KÖRPERTEMPERATUR VON WEISS-
BÜSCHELÄFFCHEN (CALLITHRIX JACCHUS) MIT HILFE
EINES NEU ENTWICKELTEN TELEMETRIESYSTEMS

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
JOHANN GEORG MAIER
aus Augsburg

München 1988

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Prof. Dr. M. Rüsse

Referent: Prof. Dr. Dr. habil. H. Petry

Korreferent: Prof. Dr. H. Kraft

Tag der Promotion: 29. Juli 1988

DISSERTATIONS- UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstr. 15, Tel. 288663

1	Einleitung	1
2	1. Kapitel	2
3	2. Kapitel	3
4	3. Kapitel	4
5	4. Kapitel	5
6	5. Kapitel	6
7	6. Kapitel	7
8	7. Kapitel	8
9	8. Kapitel	9
10	9. Kapitel	10
11	10. Kapitel	11
12	11. Kapitel	12
13	12. Kapitel	13
14	13. Kapitel	14
15	14. Kapitel	15
16	15. Kapitel	16
17	16. Kapitel	17
18	17. Kapitel	18
19	18. Kapitel	19
20	19. Kapitel	20
21	20. Kapitel	21
22	21. Kapitel	22
23	22. Kapitel	23
24	23. Kapitel	24
25	24. Kapitel	25
26	25. Kapitel	26
27	26. Kapitel	27
28	27. Kapitel	28
29	28. Kapitel	29
30	29. Kapitel	30
31	30. Kapitel	31
32	31. Kapitel	32
33	32. Kapitel	33
34	33. Kapitel	34
35	34. Kapitel	35
36	35. Kapitel	36
37	36. Kapitel	37
38	37. Kapitel	38
39	38. Kapitel	39
40	39. Kapitel	40
41	40. Kapitel	41
42	41. Kapitel	42
43	42. Kapitel	43
44	43. Kapitel	44
45	44. Kapitel	45
46	45. Kapitel	46
47	46. Kapitel	47
48	47. Kapitel	48
49	48. Kapitel	49
50	49. Kapitel	50
51	50. Kapitel	51
52	51. Kapitel	52
53	52. Kapitel	53
54	53. Kapitel	54
55	54. Kapitel	55
56	55. Kapitel	56
57	56. Kapitel	57
58	57. Kapitel	58
59	58. Kapitel	59
60	59. Kapitel	60
61	60. Kapitel	61
62	61. Kapitel	62
63	62. Kapitel	63
64	63. Kapitel	64
65	64. Kapitel	65
66	65. Kapitel	66
67	66. Kapitel	67
68	67. Kapitel	68
69	68. Kapitel	69
70	69. Kapitel	70
71	70. Kapitel	71
72	71. Kapitel	72
73	72. Kapitel	73
74	73. Kapitel	74
75	74. Kapitel	75
76	75. Kapitel	76
77	76. Kapitel	77
78	77. Kapitel	78
79	78. Kapitel	79
80	79. Kapitel	80
81	80. Kapitel	81
82	81. Kapitel	82
83	82. Kapitel	83
84	83. Kapitel	84
85	84. Kapitel	85
86	85. Kapitel	86
87	86. Kapitel	87
88	87. Kapitel	88
89	88. Kapitel	89
90	89. Kapitel	90
91	90. Kapitel	91
92	91. Kapitel	92
93	92. Kapitel	93
94	93. Kapitel	94
95	94. Kapitel	95
96	95. Kapitel	96
97	96. Kapitel	97
98	97. Kapitel	98
99	98. Kapitel	99
100	99. Kapitel	100

Meinen Eltern
in Dankbarkeit

1	1. Kapitel	1
2	2. Kapitel	2
3	3. Kapitel	3
4	4. Kapitel	4
5	5. Kapitel	5
6	6. Kapitel	6
7	7. Kapitel	7
8	8. Kapitel	8
9	9. Kapitel	9
10	10. Kapitel	10
11	11. Kapitel	11
12	12. Kapitel	12
13	13. Kapitel	13
14	14. Kapitel	14
15	15. Kapitel	15
16	16. Kapitel	16
17	17. Kapitel	17
18	18. Kapitel	18
19	19. Kapitel	19
20	20. Kapitel	20
21	21. Kapitel	21
22	22. Kapitel	22
23	23. Kapitel	23
24	24. Kapitel	24
25	25. Kapitel	25
26	26. Kapitel	26
27	27. Kapitel	27
28	28. Kapitel	28
29	29. Kapitel	29
30	30. Kapitel	30
31	31. Kapitel	31
32	32. Kapitel	32
33	33. Kapitel	33
34	34. Kapitel	34
35	35. Kapitel	35
36	36. Kapitel	36
37	37. Kapitel	37
38	38. Kapitel	38
39	39. Kapitel	39
40	40. Kapitel	40
41	41. Kapitel	41
42	42. Kapitel	42
43	43. Kapitel	43
44	44. Kapitel	44
45	45. Kapitel	45
46	46. Kapitel	46
47	47. Kapitel	47
48	48. Kapitel	48
49	49. Kapitel	49
50	50. Kapitel	50
51	51. Kapitel	51
52	52. Kapitel	52
53	53. Kapitel	53
54	54. Kapitel	54
55	55. Kapitel	55
56	56. Kapitel	56
57	57. Kapitel	57
58	58. Kapitel	58
59	59. Kapitel	59
60	60. Kapitel	60
61	61. Kapitel	61
62	62. Kapitel	62
63	63. Kapitel	63
64	64. Kapitel	64
65	65. Kapitel	65
66	66. Kapitel	66
67	67. Kapitel	67
68	68. Kapitel	68
69	69. Kapitel	69
70	70. Kapitel	70
71	71. Kapitel	71
72	72. Kapitel	72
73	73. Kapitel	73
74	74. Kapitel	74
75	75. Kapitel	75
76	76. Kapitel	76
77	77. Kapitel	77
78	78. Kapitel	78
79	79. Kapitel	79
80	80. Kapitel	80
81	81. Kapitel	81
82	82. Kapitel	82
83	83. Kapitel	83
84	84. Kapitel	84
85	85. Kapitel	85
86	86. Kapitel	86
87	87. Kapitel	87
88	88. Kapitel	88
89	89. Kapitel	89
90	90. Kapitel	90
91	91. Kapitel	91
92	92. Kapitel	92
93	93. Kapitel	93
94	94. Kapitel	94
95	95. Kapitel	95
96	96. Kapitel	96
97	97. Kapitel	97
98	98. Kapitel	98
99	99. Kapitel	99
100	100. Kapitel	100

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 EINLEITUNG	1
2 LITERATUR	3
2.1 Körpertemperatur von Tieren	3
2.1.1 Abhängigkeit von individuellen Faktoren	3
2.1.2 Beeinflussung durch den Hell-Dunkel-Wechsel	5
2.1.3 Beeinflussung durch die Spontanaktivität	7
2.1.4 Beeinflussung durch die Umgebungstemperatur	8
2.1.5 Verfälschung des Körpertemperaturmeßwertes bei Rektalmessung	9
2.2 Telemetrische Registrierung der Körpertemperatur	11
2.2.1 Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten der Biotelemetrie	11
2.2.2 Im Eigenbau erstellte Telemetriesysteme	14
2.2.3 Käufliche Telemetriesysteme	15
2.3 Experimentelle Ergebnisse zur Körpertemperatur von Affen	16
3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN	20
3.1 Material und Methoden	20
3.1.1 Versuchstiere und ihre Haltung	20
3.1.2 Versuchsdurchführung	21
3.1.3 Telemetriesystem zur Registrierung der Körpertemperatur	24
3.1.3.1 Elektrischer Aufbau des Senders	24
3.1.3.2 Mechanischer Aufbau des Senders	26
3.1.3.3 Batterieanschluß des Senders	28
3.1.3.4 Einkapselung des Senders	29
3.1.3.5 Implantation des Senders	29
3.1.3.6 Empfänger	30
3.1.3.7 Eichung des Systems	34
3.1.3.8 Meßwertaufbereitung	36
3.1.4 Registrierung der Spontanaktivität	36
3.1.5 Messung der Energieumsatzrate	38
3.1.6 Meßwertregistrierung	39
3.2 Ergebnisse	40
3.2.1 Zuverlässigkeit des Telemetriesystems	40
3.2.2 Versuchsergebnisse	47

4	DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	62
4.1	Bewertung des Telemetriesystems	62
4.1.1	Betriebsspannung	63
4.1.2	Batterieanschluß	66
4.1.3	Einkapselung	67
4.1.4	Senderkennlinie	69
4.1.5	Störungsbefreiung	70
4.2	Körperkerntemperatur von Weißbüscheläffchen	74
4.2.1	Thermoregulation	74
4.2.2	Methodisch bedingte Verfälschung der Körpertemperaturwerte	76
4.2.3	Vergleichende Beurteilung der Körpertemperaturwerte	77
4.2.4	Körpertemperatur und Bewegungsaktivität	82
4.2.5	Körpertemperatur, Bewegungsaktivität und Energieumsatzrate	85
5	ZUSAMMENFASSUNG, SUMMARY	90
6	LITERATURVERZEICHNIS	94

1 EINLEITUNG

Nachzüchtungen der in den tropischen Regenwäldern Brasiliens lebenden Krallenaffen (Callithrichidae) haben in den letzten Jahren weltweit große Bedeutung in der medizinischen Forschung erlangt. Ihre geringe Körpergröße, ihr im Vergleich zu anderen Primaten niederer Intelligenzgrad, ihre schnelle Generationsfolge und hohe Reproduktionsfähigkeit in Gefangenschaft, auch ihre Empfänglichkeit für humanpathogene Viren machen sie zu wichtigen Versuchstieren der Pharmakologie und Toxikologie, der Reproduktionsforschung sowie der Virologie. Haltung und Zucht der Tiere einerseits und die Bewertung der an ihnen gewonnenen experimentellen Befunde andererseits setzen jedoch die genaue Kenntnis aller physiologischer Parameter voraus.

Von besonderer Bedeutung ist die Körpertemperatur. Sie ist als sensitive Resultante des durch exogene und endogene Reizwirkungen beeinflussten intermediären Geschehens im Organismus nicht nur ein guter Indikator für den Gesundheitszustand eines Tieres, sondern auch für sein Wohlbefinden. Deshalb muß bei der Erfassung des physiologischen "Normalwertes" der Körpertemperatur von Tieren in hohem Maße darauf geachtet werden, daß die Haltungsbedingungen möglichst dem natürlichen Biotop des Tieres entsprechen und nur das beeinflussungsärmste Verfahren der Temperaturmessung eingesetzt wird. Hierfür bietet sich als Methode der Wahl die radiotelemetrische Temperaturregistrierung an, da nur sie die Erfassung der Meßwerte am völlig ungestörten Versuchstier erlaubt. Dieses Vorgehen ermöglicht darüber hinaus die kontinuierliche, langfristige Aufzeichnung der Körpertemperatur, wie sie z.B. zur Untersuchung circadianer Rhythmen und deren Beeinflussung unabdingbar ist.

Das Problem der radiotelemetrischen Registrierung der Körpertemperatur von Versuchstieren ist jedoch bis heute methodisch und apparativ nur unvollkommen gelöst. Es mußte deshalb ein neues Telemetriesystem entwickelt werden, mit dem der physiologische "Normalwert" der Körpertemperatur von Weißbüscheläffchen (*Callithrix jacchus*) zuverlässig bestimmt werden kann. Außerdem sollte im Rahmen von Energieumsatzmessungen der Zusammenhang zwischen Körpertemperatur, Spontanaktivität und Energieumsatzrate der Tiere untersucht werden.

2 LITERATUR

2.1 Körpertemperatur von Tieren

2.1.1 Abhängigkeit von individuellen Faktoren

Nach dem Verhalten der Körpertemperatur unterscheidet man 3 Gruppen von Lebewesen:

1. Homoiotherme (gleichwarme) Lebewesen oder Warmblüter, die ihre Körpertemperatur weitgehend unabhängig von der Umgebungstemperatur konstant halten. Hierzu gehören die Säugetiere und Vögel.
2. Poikilotherme (wechselwarme) Lebewesen oder Kaltblüter, deren Körpertemperatur von der Temperatur der Umgebung abhängig ist. Fische, Amphibien, Reptilien und alle wirbellosen Tiere sind poikilotherm.
3. Heterotherme Lebewesen, das sind die eine Zwischenstellung einnehmenden, winterschlafenden Säugetiere (Igel, Fledermaus, Hamster, Dachs, Marmot): Im Sommer sind diese Tiere homoiotherm; in der kalten Jahreszeit verhalten sie sich ähnlich wie poikilotherme Tiere.

Nach der Fähigkeit zur Thermoregulation wird die Gruppe der Homoiothermen weiter in "niedere und hohe Warmblüter" unterteilt. Niedere Warmblüter zeichnen sich dadurch aus, daß ihre durchschnittliche Körpertemperatur unter 36 °C liegt und eine hohe Schwankungsbreite aufweist, die im Vergleich zu den höheren Warmblütern weitaus mehr von der Umgebungstemperatur und der Bewegungsaktivität der Tiere abhängig ist. Bei einigen niederen Warmblütern kann die Körpertemperatur unter die Aktivitätsschwelle absinken, so daß lethargische Zustände eintreten.



Die einzelnen Körperstellen und Organe der Homoiothermen zeigen Unterschiede in der Temperatur. Die normale Hauttemperatur (Schalentemperatur) liegt deutlich unter der Körperinnentemperatur (Kerntemperatur). Die Hauttemperatur schwankt an den verschiedenen Körperstellen erheblich, je nach Durchblutung, nach der geschützten Lage der Hautpartie und den lokalen Bedingungen der Wärmeabgabe. Auch die Körperinnentemperatur zeigt wenn auch geringere Differenzen an den verschiedenen Organen.

Um vergleichbare Ergebnisse für die Körpertemperatur eines Tieres zu erhalten, muß man somit die Körperkerntemperatur (KT) erfassen und diese stets an der gleichen Körperstelle - zweckmäßigerweise im Rektum - messen.

Die KT der gleichwarmen Tiere liegt artspezifisch bei einem charakteristischen Wert zwischen 34 (Beuteltiere und Halbaffen) und 42 °C (Vögel) und schwankt physiologisch in relativ engen Grenzen.

Anscheinend hat die Körpermasse der Tiere keinen Einfluß auf das Niveau ihrer KT. Dies zeigt ein Vergleich der für verschiedene Tierarten angegebenen Körpertemperaturen (KLEIBER, 1967; SCHEUNERT und TRAUTMANN, 1976).

Auch der Einfluß des Geschlechtes auf das Niveau der KT konnte bisher bei Tieren nicht zuverlässig nachgewiesen werden. Erwähnt sei jedoch, daß nach Untersuchungen von WINGET et al. (1977) beim Menschen die Rektaltemperatur des Mannes ($37,02 \pm 0,05$ °C) signifikant niedriger ist und weniger schwankt als die der Frau ($37,45 \pm 0,12$ °C). Bei weiblichen Callithrix-Affen konnten hormonell bedingte Schwankungen der Körpertemperatur ebenfalls beobachtet werden (RUIZ and COLILLAS, 1962).

Die Altersabhängigkeit der KT ist bei Tieren gesichert. Bekanntlich liegt sie bei Neugeborenen am höchsten und bei alten Individuen am niedrigsten (LHYS, 1971; SAMBRAUS, 1980).

Auch die Stoffwechselleistung eines Tieres beeinflusst seine Körpertemperatur. Eine Steigerung des Stoffwechsels, wie z.B. durch Gravidität oder Laktation sowie durch Fütterung oder lebhaftes Bewegung, bewirkt eine länger- bzw. kurzfristige Erhöhung der KT (LITTLEDIKE et al., 1979).

2.1.2 Beeinflussung durch den Hell-Dunkel-Wechsel

Wie alle physiologischen und biochemischen Prozesse zeigt auch die KT der Tiere eine Rhythmik, die unter natürlichen Bedingungen synchron zum 24-Stunden-Tag verläuft. Besonders auffallend ist der Einfluß des täglichen Wechsels zwischen Hell und Dunkel. In der graphischen Darstellung zeigt die KT der Tiere einen entsprechenden wellenförmigen Verlauf, wobei sich die Temperaturkurven von tag- und nachtaktiven Tieren mehr oder weniger spiegelbildlich verhalten (ASCHOFF, 1955). Die KT folgt in der Wachphase häufig dem Bigenimus der körperlichen Aktivität der Tiere. Öfters findet man auch nur ein Maximum, zu dem die KT während der Aktivitätsphase langsam ansteigt.

Häufig wurde vermutet, daß der Tagesverlauf der Körpertemperatur allein eine Folge des Wechsels zwischen Aktivität und Ruhe sowie der periodischen Futteraufnahme sei (GINNIS and SOUTHWORTH, 1967; ASCHOFF, 1970). Deshalb wurden Versuche durchgeführt, in denen der Einfluß dieser Parameter eliminiert wurde. Bei Messungen an hungernden und durch Dunkelheit zur Körperruhe veranlaßten Bergfinken blieb der rhythmische Körpertemperaturverlauf erhalten (ASCHOFF und POHL, 1970). Protrahierte Schlaflosigkeit und Ausschaltung jeglicher Muskelbewegung beim Menschen verkleinerten zwar die Amplitude der Temperaturkurve, der Temperaturrehythmus blieb jedoch er-

halten (ASCHOFF, 1955). Es ist deshalb zu folgern, daß körperliche Aktivität und Nahrungsaufnahme zwar die Temperaturperiodizität in ihrem Betrag beeinflussen, nicht aber verursachen.

Auch die Auswirkung des Hell-Dunkel-Wechsels auf die Regelmäßigkeit des Temperaturverlaufes wurde untersucht. Dabei zeigte sich bei Dauerlicht ausgesetzten Ratten, daß die circadiane Temperaturrehythmik bis zum 120. Tag erhalten blieb, ihr circadianer Schlaf-Wach-Rhythmus dagegen bereits nach ungefähr 100 Tagen verschwand (EASTMAN and RECHTSCHAFFEN, 1983). Bei Katzen, die ständig in Dunkelheit gehalten wurden, blieb der circadiane Gehirntemperaturverlauf nur bis zum 10. Tag bestehen und der circadiane Schlaf-Wach-Rhythmus war bereits nach einer Woche verloren.

Die unterschiedliche Persistenz der beiden Rhythmen deutet darauf hin, daß Temperaturrehythmus und Schlaf-Wach-Rhythmus zwar durch verschiedene Oszillatoren verursacht, jedoch durch den Einfluß des täglichen Hell-Dunkel-Wechsels synchronisiert werden. In obigen Untersuchungen konnte dies durch die Rückkehr zum normalen Beleuchtungsrhythmus bestätigt werden.

In Untersuchungen mit Dauerlicht bzw. permanenter Dunkelheit kamen nach dem Verlust der circadianen Rhythmik ultradiane Temperatur- bzw. Schlaf-Wach-Rhythmen mit 2 - 5 h Dauer zum Vorschein. KADONO und USAMI (1983) haben dies z.B. bei Hühnern, die über drei Monate einer Dauerbeleuchtung ausgesetzt waren, festgestellt. Die Existenz ultradianer Rhythmen wurde weiterhin von FOLK und FOLK (1964) für Erdhörnchen und von HONMA und HIROSHIGE (1978) für Ratten konstatiert. Der ultradiane Rhythmus kann als Grundeinheit des circadianen Rhythmus angesehen werden. Somit beeinflußt der tägliche Hell-Dunkel-Wechsel zwar die Periodenlänge der Temperatur- und Schlaf-rhythmik der Tiere, ist aber dafür nicht ursächlich.

Die Ursache für die Rhythmik des Temperaturverlaufes ist endogener Natur. Die periodischen Schwankungen beruhen nach ASCHOFF (1955) auf einer regelmäßigen Verstellung des Sollwertes und sind angeboren. Die Periodik der Umwelt, insbesondere der Hell-Dunkel-Wechsel wirkt wie ein Zeitgeber, der Tier und Umwelt miteinander synchronisiert und so eine biologisch sinnvolle Phasenbeziehung der beiden Systeme herstellt (ASCHOFF, 1962).

2.1.3 Beeinflussung durch die Spontanaktivität

Die Schwankungen der KT der Tiere im Wachzustand sind durch die Nahrungsaufnahme, hauptsächlich jedoch durch die körperliche Aktivität bestimmt. Durch die gleichzeitige Registrierung und graphische Darstellung der KT und Bewegungsaktivität von Ratten konnte HEUSNER (1959) erstmals den Zusammenhang dieser beiden Parameter aufzeigen. Wegen des Fehlens numerischer Meßdaten war ihm eine Quantifizierung der Relation allerdings nicht möglich.

Dies wurde später von BOLLES et al. (1968) versucht. Die Autoren registrierten die KT ihrer Versuchsratten bereits telemetrisch, konnten jedoch die Motilität der Tiere nur subjektiv durch direkte Beobachtung bewerten. In der Regressionsanalyse wurde deshalb ein durchschnittlicher Korrelationskoeffizient von nur $r=0,3$ ermittelt.

MEINRATH und D'AMATO (1979) ersetzten dann die visuelle Bewegungsregistrierung durch ein meßtechnisches Verfahren (piezoelektrischer Kristall). Mit der verbesserten Methodik erreichten sie bei Ratten entsprechend höhere Korrelationskoeffizienten von $r=0,66$ ($p<0,05$) für die Beziehung zwischen Bewegungsaktivität und KT. Die Berechnung dieser Koeffizienten erfolgte auf der Basis von Stundendurchschnittswerten für

die Bewegungsaktivität und die Körpertemperatur. Die Auswertung auf der Basis von entsprechenden 1-min-Werten führte dagegen nur zu Werten von $r=0,024$. Die Autoren erklärten diesen deutlich niedrigeren Korrelationskoeffizienten u.a. durch die Diskrepanz zwischen Meßintervalldauer (1 min) und Zeitkonstante (2,3 min) des Temperatursenders.

Diesem Umstand haben dann BÜTTNER und WOLLNIK (1982) Rechnung getragen. Sie registrierten Bewegungsaktivität und KT von Ratten synchron in 5-min-Intervallen und berechneten die Korrelation der beiden Parameter anhand entsprechender Stundenmittelwerte ($r = 0,63-0,75$). Berücksichtigten sie dabei die durch die Trägheit des Senders bedingte verzögerte Aufzeichnung der KT-Werte gegenüber den korrespondierenden Motilitätswerten durch konsequentes Versetzen der Temperaturmeßdaten um 10 min, erhielten sie durchschnittlich 0,1 höhere Korrelationskoeffizienten.

2.1.4 Beeinflussung durch die Umgebungstemperatur

Homoiotherme Tiere können im Rahmen ihrer physikalischen und chemischen Thermoregulation auf Veränderungen der Umgebungstemperatur (UT) in gewissen Grenzen kompensatorisch reagieren. Unter- bzw. überschreitet die UT einen bestimmten kritischen Wert, kommt es durch Versagen der Thermoregulation zu Hypo- bzw. Hyperthermie. Die sogenannte thermoneutrale Zone (Bereich der UT, in der das Tier seine KT "konstant" halten kann) variiert bezüglich ihrer Breite und Lage zwischen den einzelnen Tierarten. Da im allgemeinen die obere kritische UT sehr nah an der KT liegt, können die meisten Tiere Erhöhungen der UT weniger gut kompensieren als Temperaturabsenkungen, und es tritt dann eine lebensbedrohende Hyperthermie auf, die paradoxerweise von einer zusätzlich Wärme produzierenden gesteigerten Bewegungsaktivität begleitet ist.

So können beispielsweise Ratten nach den Untersuchungen von HAINSWORTH (1967) ihre Rektaltemperatur bis zu einer UT von 32 ° (Einwirkungszeit 4 h) konstant halten. Bei einer UT von 36 °C erhöhte sich dagegen die KT der Tiere bereits nach 1 h um 2 °C, um dann annähernd auf diesem neuen Temperaturniveau zu verbleiben. Ab 40 °C UT setzte jegliche Thermoregulation aus, und die KT der Tiere stieg im Verlauf von $\frac{1}{2}$ - 1 h auf etwa 41,5 °C an.

Zu vergleichbaren Resultaten kam auch UMBACH (1980) durch Untersuchungen an "normalen" Wistar-Ratten, während spontan hypertensive Vergleichstiere bereits bei 32 °C UT ihre KT um ungefähr 2 °C erhöhten. Letzteres wurde von der Autorin u.a. durch die deutliche Zunahme der Bewegungsaktivität der Tiere erklärt.

MORRISON und MIDDLETON (1967) untersuchten den Einfluß von Kälte und Hitze auf die KT von Zwergseidenäffchen (*Callithrix pygmaea*). Sie stellten fest, daß die durchschnittliche Tages-temperatur dieser Tiere (38,0 °C KT bei 20 °C UT) bei einer UT von 5 °C (Einwirkungszeit 2 h) um 3 °C absinkt und bei einer UT von 41 °C um 3 °C ansteigt.

Auch beim Nasenbären (*Nasua Nasua*) beobachteten CHEVILLARD-HUGOT et al. (1980) einen Anstieg der KT von 39,3 °C (bei einer UT von 24 °C) auf 41,8 °C, nachdem das Tier eine Stunde lang einer UT von 40 °C ausgesetzt war.

2.1.5 Verfälschung des KT-Meßwertes bei Rektalmessung

Die Registrierung physiologischer Parameter mit herkömmlichen Meßmethoden führt aufgrund der damit verbundenen Störung und Aufregung des Versuchstieres zu unsicheren Ergebnissen. Bekanntlich ist die Herzfrequenz eines Tieres besonders stark vom Grad seiner Aufregung abhängig. Aber auch die KT spiegelt die Erlebnisse eines Tieres wieder. Zur Messung der KT mit

der klassischen Thermometermethode muß das betreffende Versuchstier gefangen und dann möglichst unbeweglich gehalten werden. Durch diese Manipulationen (Streß) wird das Tier stark erregt, seine KT steigt entsprechend an und der eigentliche physiologische Wert kann deshalb nicht mehr gemessen werden.

Bereits um die Jahrhundertwende berichtete BROWN (1909), daß bei Pavianen die rektale Temperaturmessung durch eine unbekannte Person zu einer Erhöhung der KT bis zu $0,7^{\circ}\text{C}$ führte. Nach GEORGIEV (1978/79) genügte bei Ratten schon das Betreten des Tierstalles durch einen Fremden, um die KT der Tiere (telemetrisch gemessen) um ebenfalls $0,7^{\circ}\text{C}$ ansteigen zu lassen. Vor diesem Hintergrund versteht sich auch, daß SAMBRAUS (1980) für Kühe telemetrisch eine niedrigere KT ($38,1 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$) registrierte als im allgemeinen angegeben wird ($38,6^{\circ}\text{C}$).

Als besonders störend empfinden Tiere eine sich über lange Zeiträume ständig wiederholende Thermometermessung, wie sie z.B. zur Erfassung des circadianen Rhythmus notwendig ist. Auf diesen Umstand hat insbesondere MILES (1962) hingewiesen, der folgenden Versuch an Ratten durchführte: Simultan zur telemetrischen Registrierung der KT (Sender in Bauchhöhle implantiert) wurde die Rektaltemperatur der Tiere in Gruppe 1 im Abstand von 4 h und in Gruppe 2 stündlich über die Dauer von 2 Tagen gemessen. Eine 3. Tiergruppe, die keiner rektalen Temperaturmessung ausgesetzt war, diente der Kontrolle. Bei Versuchsgruppe 1 reduzierte sich die Amplitude der circadianen Temperaturrehythmik auf die Hälfte und bei Versuchsgruppe 2 ging die Wellenform der Temperaturkurve nahezu verloren. Durch die wiederholte Ausführung der manuellen rektalen Temperaturmessung wird somit der Wert der KT eines Versuchstieres stark verändert. Diese Tatsache läßt sich aber experimentell nur durch den simultanen Einsatz der telemetrischen KT-Registrierung beweisen.

2.2 Telemetrische Registrierung der Körpertemperatur

2.2.1 Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten der Biotelemetrie

Für die Bearbeitung zahlreicher Fragestellungen in Biologie, Verhaltensforschung und Medizin ist die Registrierung von verschiedenen physiologischen Parametern von Versuchstieren erforderlich. Schon sehr früh wurde die Notwendigkeit der unbeeinflussten Aufzeichnung erkannt. Um die durch die Messung verursachte Störung des Versuchstieres und die damit verbundene Verfälschung des Meßwertes zu verringern, bediente man sich zunächst der drahtgebundenen Fernmessung. Bei dieser Methode wird der zu messende Parameter mit Hilfe eines am Versuchstier angebrachten Sensors aufgenommen und durch ein Kabel zu einem stationären Meßgerät geleitet.

Thermosensoren zur Registrierung der KT von Versuchstieren wurden an den verschiedensten Körperstellen befestigt, z.B. am Trommelfell (HAMPTON, 1973), im Rektum (HAINSWORTH, 1967; MÜLLER, 1979), in der Brusthöhle (POOLE and STEPHENSON, 1972) und im Gehirn (MORISHIMA and GALE, 1972; EASTMAN and RECHTSCHAFFEN, 1983; KUWABARA et al., 1986).

Die Verbesserung der KT-Messung durch einen stationären, implantierten Thermistor gegenüber der rektalen Temperaturmessung konnten z.B. von POOLE und STEPHENSON (1977) durch Versuche an Ratten aufzeigen: Eine Thermistorsonde wurde dem Versuchstier operativ entlang der Trachea 2 cm tief in den Thorax eingeschoben und der KT-Meßwert durch eine Drahtleitung dem Registriergerät übermittelt. Eine zweite Sonde wurde jeweils nur zur 1minütigen Temperaturmessung in das Rektum des fixierten Tieres eingeführt. Die Manipulation führte zu einem Anstieg der KT von 1,1 °C. Die Ausgangstemperatur war nach durchschnittlich 70 min wieder erreicht. Bei Wieder-

holung des Versuches war der Temperaturanstieg reproduzierbar; lediglich die Dauer des folgenden Temperaturabfalls verkürzte sich.

Seit etwa 30 Jahren ermöglicht der Transistor aufgrund seiner geringen Größe und seines niedrigen Energieverbrauchs die Entwicklung von kleinen, batteriebetriebenen Sendern, die Versuchstieren implantiert werden können. Dadurch wurde die kontinuierliche drahtlose Übertragung der verschiedensten physiologischen Parameter beim völlig ungestörten Tier möglich, z.B. der Herzschlagfrequenz (BÜTTNER und PLONAIT, 1980; STÖHR, 1982), des Magendruckes (PLONAIT und REINHARD, 1977), des Magen-pH-Wertes (GRÄNZER et al., 1973) und des Elektrokardiogrammes (PLONAIT und BÜTTNER, 1984).

Am häufigsten wurde bisher die Körpertemperatur von Tieren auf diese Weise gemessen. Je nachdem, ob die Temperatur an der Körperoberfläche, der Körperschale oder des Körperkernes gemessen werden sollte, wurde der Sender an unterschiedlichen Körperstellen lokalisiert.

So leimten HOECK et al. (1985) den Sender zwischen die Rückenstacheln von Igel, um deren KT aufzuzeichnen. PICCOLIE et al. (1982) setzten bei Pavianen den Sender subkutan im dorsalen Bereich des Nackens ein. Um speziell die Eutertemperatur von Rindern zu erfassen, implantierten LEFCOURT et al. (1986) den Sender in das Gewebe oberhalb des Ansatzes des medialen Symphysenbandes. SAMBRAUS (1980) schließlich nähte den Sender zur Registrierung der Vaginaltemperatur von Rindern ventral an die Portio. Zur zuverlässigen Erfassung der effektiven Körperkerntemperatur (KT) wurde der Sender meist frei beweglich in die Bauchhöhle der Versuchstiere eingesetzt (WINGET et al., 1968; CASTRO und BROWER, 1977; RUF, 1986; MARVIN und REESE, 1986), in einigen Fällen an das Omentum angehängt (WIESNER, 1987). DAUNCEY et al. (1986) implantierten den Sender bei Schweinen in die Nähe der Karotis.

Die Messungen fanden gewöhnlich am Einzeltier statt, vereinzelt auch mit speziell erstellten Meßsystemen an mehreren Versuchstieren gleichzeitig (GALLAHER et al., 1985; HOECK et al. 1985; RUF, 1986) oder simultan mit einem anderen Parameter, z.B. der Herzschlagfrequenz (WINGET et al., 1968).

Die Zielsetzung der telemetrischen Temperaturregistrierung ist sehr unterschiedlich. Die Methode bietet sich jedoch insbesondere dazu an, die Auswirkungen von Haltungsbedingungen und Handling auf die KT von Versuchstieren zu untersuchen. So stellte UMBACH (1980) bei Ratten, die von ihrem Käfig in ein Auslaufgehege oder in ein Zwangsrohr gebracht wurden, jeweils einen Anstieg der KT fest. Bei Legehennen führte Käfighaltung zur Störung der natürlichen Rhythmik der KT (RENNER-GORLAS, 1985). Die Amplitude ihrer KT war im Freilauf (0,5-1,5 °C) niedriger als bei Käfighaltung (>2 °C). Darüberhinaus wurde durch das Beleuchtungsprogramm der Zeitpunkt des Temperaturmaximums und -minimums beeinflusst. RUF (1986) bediente sich der telemetrischen Methode, um den Einfluß des Hell-Dunkel-Wechsels auf den Verlauf der KT von Zwerghamstern zu studieren.

Andererseits versuchte SAMBRAUS (1980) mittels des telemetrisch kontinuierlich registrierten Verlaufs der Vaginaltemperatur von Rindern, auf deren Zyklusstand zu schließen. Die Vaginaltemperatur ergab jedoch nur andeutungsweise einen Hinweis auf den Zeitpunkt des Oestrus. LEFCOURT et al. (1986) untersuchten die Temperatur der Milchdrüse von Rindern. Obwohl sie eine enge Korrelation zwischen Eutertemperatur und KT beobachteten, konnte die durch eine künstlich erzeugte, subklinische Mastitis (*Streptococcus agalactiae*) hervorgerufene Temperaturerhöhung des Euters nur über deren telemetrische Registrierung erfaßt werden. LITTELDIKE et al. (1979) ermittelten den physiologischen KT-Verlauf von Schweinen in der Puerperalzeit. Sie stellten innerhalb des Zeitraumes

2 Tage a.p. - 12 Tage p.p. einen Anstieg der KT um 1,6 °C fest, ein für die richtige Beurteilung der KT bei Puerperalerkrankungen des Schweines wichtiger Befund.

2.2.2 Im Eigenbau erstellte Telemetriesysteme

Der Physiker und Biologe MACKAY (1968) war einer der ersten, der einfache Schaltpläne für telemetrische Temperatursender beschrieb, die von Laien nachgebaut werden konnten (vgl. z.B. STONG, 1968): Ein temperaturabhängiger Widerstand (Thermistor) wird in den Schaltkreis eines Senders eingefügt. Dieser gibt im Mittelwellenbereich elektromagnetische Wellen ab, deren Frequenz der Meßtemperatur proportional ist (Frequenzmodulation). Nach hermetischer Einkapselung ist der Sender implantierbar.

MW-Sender sind jedoch aus bekannten Gründen sehr störanfällig. Deshalb wurde die Methodik durch eine Änderung der Sendefrequenz in den UKW-Bereich verbessert (FRYER et al., 1966; WINGET und FRYER, 1966; RILEY, 1970). Durch neue elektronische Bautechniken konnten Größe und Gewicht der Temperatursender reduziert werden, z.B. durch die Dünnschichttechnik (KO and NEUMAN, 1967) oder die Hybrid-Dickfilm-Technik (SAMBRAUS, 1980). Der Aufbau dieser Schaltungen ist jedoch nur in speziell ausgerüsteten Laboratorien möglich.

Bestimmend für die Abmessungen eines Senders ist in erster Linie die Größe der Batterie. Diesen Umstand hat z.B. PLONAIT (1974) ausführlicher diskutiert. Deshalb wurden, um telemetrische Temperaturaufzeichnungen auch an sehr kleinen Versuchstieren, z.B. an nur 7 cm großen Eidechsen (*Aprosaura anchietae*), vornehmen zu können, passive Temperatursonden entwickelt (AUSTIN et al., 1984). Bei solchen Sonden befindet sich die Energiequelle, ein Microwellensender, außerhalb des

Versuchstieres. Die implantierte Temperatursonde fungiert dann als Microwellenfilter, das die empfangenen Energiewellen mit einer Frequenz reflektiert, die von der KT des Versuchstieres abhängig ist. Abgesehen von ihrer sehr kleinen Baugröße haben passive Sender darüber hinaus den Vorteil, daß sie theoretisch unbegrenzt funktionsfähig sind und somit beliebig lange in einem Versuchstier verbleiben können.

2.2.3 Käufliche Telemetriesysteme

Das Problem der biotelemetrischen Meßwertaufzeichnung ist bis heute methodisch und apparativ nur unvollkommen gelöst. Im Handel finden sich deshalb keine gebrauchsfertigen und preisgünstigen, universell einsetzbare Telemetriesysteme. Lediglich die amerikanische Fa. Mini-Mitter bietet ein kleines Sortiment von Sendern, Antennen und Empfangsgeräten an, deren Einsatz in der Literatur mehrfach beschrieben ist.

MÜLLER et al. (1983) haben nach ihren Angaben mit MW-Sendern der Fa. Mini-Mitter bei Diademmeerkatzen und Colobus-Affen erfolgreiche KT-Messungen vorgenommen. Desgleichen berichteten MARVIN und REESE (1986) über Versuche mit Hunden. Andere Autoren bezeichneten dagegen die Mini-Mitter-Sender für ihre Anforderungen als unzureichend. Als großes Problem bei Messungen in Laborräumen erwiesen sich hochfrequente Störsignale im MW-Bereich, die vom Empfänger ebenfalls registriert wurden und so die Temperaturwerte verfälschten. Zur Eliminierung dieser Störungen installierten CASTRO und BROWER (1977) sowie RUF (1986) einen zweiten Radioempfänger, der - von den Signalen des Senders abgeschirmt - nur die Störungen im Laborraum empfing. Sobald solche Störungen die elektronische Auswertvorrichtung erreichten, wurde der eigentliche Meßvorgang für die KT unterbrochen.

Eine weitere Fehlerquelle war die unzuverlässige Energieversorgung des Mini-Mitter-Senders. Als Hauptproblem bezeichnet LEFCOURT et al. (1986) die Langzeitdrift der Batteriespannung, von der die Sendeleistung und folglich auch die Reproduzierbarkeit des Meßwertes abhängt.

Auch die fehlende Computerkompatibilität, die für eine kontinuierliche Datenaufzeichnung wünschenswert ist, war lange Zeit eine Schwäche¹ des Mini-Mitter-Systems. CASTRO und BROWER (1977) beschrieben eine Anlage, bei der die vom Empfänger bereitgestellten Meßdaten mit Hilfe eines Interface auf einen Personalcomputer übertragen wurden. Störsignale wurden durch das Rechenprogramm des Computers eliminiert. Dazu mußte jedes neue Meßsignal vor der Abspeicherung ein Zeitfenster passieren, dessen Öffnungszeit sich jeweils aus den zeitlichen Abständen der in den vorausgegangenen 3 Minuten registrierten Meßsignale berechnete und bei Änderung der Meßtemperatur schrittweise um ± 20 msec verändert wurde. Dieses Datenverarbeitungssystem wurde später von GALLAHER et al. (1985) dahingehend optimiert, daß die Körpertemperaturen von 8 Ratten zu gleicher Zeit kontinuierlich aufgezeichnet werden konnten.

2.3 Experimentelle Ergebnisse zur Körpertemperatur von Affen

Mit den beschriebenen Methoden (Thermometermessung, drahtgebundene und Radio-Telemetrie) wurde die Körpertemperatur von verschiedenen Affenarten untersucht.

¹Mittlerweile bietet die Firma Mini-Mitter ein Datenverarbeitungssystem an, das auf die Computersysteme 64K Apple II und 448 IBM PC abgestimmt ist.

Eine umfangreiche Übersicht über den Kenntnisstand der Körpertemperatur bei Halbaffen findet sich bei MÜLLER (1983).

Für Altweltaffen liegen folgende Ergebnisse vor:

MORRISON (1962) ermittelte bei Schimpansen im 4-h-Abstand die Rektaltemperatur mit einem gewöhnlichen Klinikthermometer. Die Durchschnittstemperatur der Tiere lag bei 37,05 °C. Der Temperaturverlauf war rhythmisch und hatte um 15 Uhr sein Maximum mit 38,0 °C und um 3.00 Uhr sein Minimum mit 36,5 °C. Bei Pavianen haben MORISHIMA und GALE (1972) die Gehirntemperatur mittels implantierter Thermistorsonde mit Kabelableitung kontinuierlich gemessen und dabei einen circadianen Rhythmus mit einer Amplitude von 1,5 °C festgestellt. Das Tagesmaximum von $38,6 \pm 0,2$ °C wurde jeweils zwischen 17 - 18 Uhr erreicht, das Minimum von $37,1 \pm 0,1$ °C jeweils zwischen 5 - 6 Uhr. PICCOLIE et al. (1982) stellten ebenfalls bei Pavianen durch subcutane Temperaturmessung eine etwas größere tägliche Temperaturschwankung von 2,0 °C fest.

Bei den zur selben Familie gehörenden Diademmeerkatzen (*Cercopithecus mitis*) ermittelten MÜLLER et al. (1983) eine tägliche Temperaturschwankung von 1,0 °C; die KT der Versuchstiere lag zwischen 37,5 und 38,5 °C. Für die zu den Schlankaffen zählenden Schwarzweißen Stummelaffen (*Guerezas*) gaben MÜLLER et al. den KT-Bereich von 36,7 - 38,2 °C an (Tageschwankung 1,5 °C). Die beiden Affenarten unterschieden sich auch bezüglich des KT-Verlaufes am Tage. Bei den Diademmeerkatzen stieg die KT jeweils schnell bereits zwischen 3-6 Uhr auf das Tagesniveau an, bei den Colobus-Affen beobachteten MÜLLER et al. dagegen einen nur allmählichen Temperaturanstieg zum Maximum am Nachmittag (15 Uhr). Am Abend wiederum fiel die KT beider Hundsaffenarten gleichermaßen ab 18 Uhr auf das Nachtniveau ab.

Für Neuweltaffen liegen folgende Ergebnisse vor:

WINGET et al. (1968) registrierten telemetrisch die KT von Weißstirnkapuzineraffen (*Cebus albafrons*) mit einem in die Bauchhöhle implantierten Sender. Die KT der Tiere fluktuierte im Bereich von 36 - 39 °C mit einem langsamen Anstieg am Morgen und einem schnellen Abfall am Abend.

RICHTER (1984) ermittelte bei drei verschiedenen, bedauerlicherweise von ihm nicht bezeichneten Krallenaffenarten (*Callithrichidae*) mit einem elektronischen Thermometer im Verlauf von 5 Jahren mehrere tausend Rektaltemperaturwerte. Er fand damit heraus, daß die "normale" Tagestemperatur dieser Affchen zwischen 38,5 und 40 °C variierte.

HAMPTON (1973) verfolgte die KT an einem Tamarinen (*Saguinus oedipus*) mit Hilfe eines am Trommelfell anliegenden Thermistors. Der dazugehörige Sender war mit Hilfe einer Bandage am Kopf des Tieres befestigt. Bei dem Affen zeigte sich am Tage ein typischer zweiphasiger Verlauf der KT mit einem Tiefpunkt um die Mittagszeit. Die Amplitude der circadianen Schwankung betrug insgesamt 4 °C.

Bei zwei Zwergseidenäffchen (*Cebuella pygmaea*) beobachteten MORRISON und MIDDLETON (1967) durch manuelle Thermometerregistrierung der KT, daß diese bei dem weiblichen Tier (34,2 - 38,0 °C) um durchschnittlich 0,6 °C niedriger war als beim männlichen Tier (35,1 - 38,3 °C). Bei beiden Tieren betrug die Temperaturschwankung im Mittel jedoch gleichermaßen 3,6°C.

Auch über KT-Messungen an Weißbüscheläffchen (*Callithrix jacchus*) liegen bereits Berichte vor. So registrierten MORRISON und SIMOES (1962/63) wiederholt die Rektaltemperatur von 4 *Callithrix*-Männchen mit einem Widerstandsthermometer. Die Tagesdurchschnittstemperatur (8 - 18 Uhr) der Tiere betrug 39,1 °C (n=37) und erreichte um 9.30 Uhr ihr Maximum von 39,7 °C. Die durchschnittliche Nachttemperatur (21 - 5 Uhr) belief sich auf 36,2 °C (n=14) und hatte ihr Minimum von

35,4 °C um 1.30 Uhr. Vergleichbare Temperaturwerte finden sich bei HETHERINGTON (1978). Er nahm im Abstand von 4 Stunden mehrmals an 8 Weißbüscheläffchen verschiedenen Geschlechts KT- Messungen mit dem Fieberthermometer vor. Das Maximum der KT am Tag betrug 39,8 °C und das Minimum bei Nacht 34,0 °C. Der Temperaturverlauf der Tiere zeigte einen ausgeprägten circadianen Rhythmus. Der morgendliche Temperaturanstieg vom Nacht- auf das Tagniveau verlief dabei langsamer als der Temperaturabfall am Abend. Individuelle oder geschlechtsspezifische Unterschiede waren nicht signifikant.

3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Material und Methoden

3.1.1 Versuchstiere und ihre Haltung

Als Versuchstiere dienten zwei erwachsene, männliche Krallenaffen der Spezies *Callithrix jacchus*:

1. Tom, 6 Jahre alt, durchschnittliche Körpermasse 420 g und
 2. Jim, 10 Jahre alt, durchschnittliche Körpermasse 315 g.
- Beide Weißbüscheläffchen wurden in Gefangenschaft geboren und stammten aus der Zuchtkolonie des Max-von-Pettenkofer-Instituts für Hygiene und medizinische Mikrobiologie der Universität München.

Die Affen wurden einzeln mit Sichtkontakt nebeneinander in Drahtgitterkäfigen (75 * 50 * 50 cm) gehalten. Unter dem Käfigdach war eine Schlafkoje aus undurchsichtigem Kunststoff (35 * 15 * 15 cm) befestigt. In der Käfigmitte war eine 5 cm breite Sitzstange aus Holz angebracht. Die Futterschale war am Käfigboden fest montiert. Außen am Käfig hing eine abnehmbare Wasserflasche, deren Tränkenippel in den Käfig ragte.

Für die optisch-optoelektronische Registrierung der Bewegungsaktivität (S.36) und die telemetrische Aufzeichnung der Körpertemperatur (S.24) wurde ein wie folgt modifizierter Drahtkäfig als Meßkäfig benutzt:

1. Das Frontgitter des Käfigs war durch eine durchsichtige Plexiglasscheibe ersetzt, damit die Körperbewegungen für den optoelektronischen Meßwertaufnehmer "ungestört beobachtbar" waren.
2. Zum Empfang der Meßsignale des Temperatursenders war eine Einstab-Teleskop-Antenne in vertikaler Richtung in der

Längsachse des Käfigs angebracht. Die Antenne steckte in einem Plastikrohr und war so vor Manipulationen durch das Tier geschützt.

Die Tiere waren in einem fensterlosen Versuchsraum (2 * 3 m) untergebracht, der pro Stunde mit 50 m³ konstant klimatisierter Frischluft (Lufttemperatur 28 °C; rel. Luftfeuchte 60%) aus einer begehbaren Klimakammer belüftet wurde. Ein Meteorograph zeichnete die Raumtemperatur und die Luftfeuchtigkeit fortlaufend auf. Die Beleuchtung im Tierstall durch zwei Tageslicht-Leuchtstoffröhren (800 lux: 2 Vita-Lite-Neonröhren à 60 W) war zwischen 6 - 18 Uhr eingeschaltet.

Die Affen wurden mit einer zu 6-mm-Pellets gepreßten Diät eigener Herstellung¹ ad libitum gefüttert. Frisches Trinkwasser stand ihnen ebenfalls zur freien Verfügung.

3.1.2. Versuchsdurchführung

Versuchsreihe I

In der ersten Versuchsreihe wurde von beiden Affen mittels Telemetrie die Körperkerntemperatur (KT) wiederholt über je 24 h kontinuierlich registriert. Um die Temperaturen der beiden Versuchstiere miteinander vergleichen zu können, wurden diese Messungen bei absolut gleichen Versuchsbedingungen im oben beschriebenen Meßkäfig durchgeführt. Die KT von Tom wurde an insgesamt 28 Versuchstagen und die von Jim an 10 Tagen ermittelt.

¹Modifikation einer Koloniediät für Krallenaffen, die in unserem Institut entwickelt wurde (FLURER et al., 1983)

Versuchsreihe II

In Versuchsreihe II wurde die mögliche Beeinflussung der Körpertemperatur der Affen durch folgende Faktoren geprüft:

1. Änderung der Umgebungstemperatur,
2. Hunger,
3. Handling zwecks manueller Temperaturmessung.

Die Auswirkung einer Erhöhung der Umgebungstemperatur auf die Körpertemperatur wurde bei Tom untersucht. Dazu wurde die Raumtemperatur im Tierstall um 2 °C auf 30 °C angehoben. Die übrigen Versuchsbedingungen blieben unverändert. Nach viertägiger Adaption wurde die KT von Tom an insgesamt 5 Tagen kontinuierlich telemetrisch registriert.

Bei dem Versuchsaffen Jim wurde geprüft, inwieweit sich eine Absenkung der Umgebungstemperatur auf die Körpertemperatur des Tieres auswirkt. Hierzu wurde die Umgebungstemperatur um 4 °C auf 24 °C abgesenkt. Nach Adaption wurde die KT je zweimal über 24 h gemessen: an 2 Versuchstagen bei Futteraufnahme ad libitum und an 2 weiteren Versuchstagen bei Hunger (Futterentzug jeweils zu Beginn des betreffenden Versuchstages).

Die Auswirkung der manuellen Temperaturmessung auf den KT-Verlauf wurde ebenfalls bei Jim untersucht. Dazu wurde an 5 verschiedenen Versuchstagen jeweils zwischen 12 - 14 Uhr die KT des Tieres telemetrisch registriert. Die Meßdaten wurden als Durchschnittswerte von 1-min-Intervallen vom Computer ausgedruckt. Genau eine Stunde nach Versuchsbeginn wurde die rektale Temperatur des Affen einmalig als Momentwert manuell gemessen. Das Versuchstier wurde hierzu von der ihm vertrauten Pflegerin vorsichtig gefangen und festgehalten. Von einer zweiten, dem Affen ebenfalls bekannten Person wurde ein Digitalthermometer (DOMOTHERM; HESTIA Pharma GmbH, Mannheim) nach kurzem Eintauchen in ein steriles Gleitmittel ungefähr 2 cm tief ins Rektum eingeführt. Der ganze Vorgang dauerte 3 min.

Versuchsreihe III

In Versuchsreihe III wurde die Abhängigkeit der KT von der Spontanaktivität untersucht. Dazu wurde die KT der beiden Versuchstiere an 14 (Tom) bzw. 7 (Jim) Tagen kontinuierlich gemessen. Bei Tom wurde simultan die Bewegungsaktivität am Tage (6 - 18 Uhr) optisch-optoelektronisch erfaßt (S.36). Bei Jim konnte nach einer Weiterentwicklung des Motilitätsmeßverfahrens die Bewegungsaktivität auch bei Nacht gemessen werden.

Zur Durchführung der Bewegungsregistrierung wurde der Meßwertaufnehmer (Faltenbalg, Linse, Meßplatte) im Tierstall mit etwa 1 m Abstand vor dem Meßkäfig aufgestellt. Die Meßempfindlichkeit wurde so eingestellt, daß jede Bewegung des Versuchstieres, die größer als eine Atembewegung war, erfaßt wurde.

Versuchsreihe IV

Die Energieumsatzrate der beiden Versuchsaffen wurde mit Hilfe einer halbautomatischen Respirationsanlage (S.38) gemessen; simultan zum Gaswechsel wurden die KT der Tiere telemetrisch und ihre Spontanaktivität optisch-optoelektronisch registriert.

Am 1. Versuchstag wurde dem zur Messung anstehenden Affen um 12 Uhr das Futter weggenommen.

Am 2. Tag erhielt er zur selben Zeit 10 g MILUPA-Brei pro kg^{0,75} KM als Standardmahlzeit.

Am 3. Tag wurde das Tier gewogen und gegen 11 Uhr zur Eingewöhnung in das Respirationsgefäß gesetzt. Die Messung der 3 oben genannten Parameter begann pünktlich um 12 Uhr und dauerte 48 h.

Am 4. Tag um 12 Uhr wurde dem Affen 10 g der pelletierten Koloniediät durch einen Fütterungsautomaten angeboten.

Am 5. Tag wurde die Messung um 12 Uhr beendet und das Tier erneut gewogen.

Die Energieumsatzbestimmung wurde mit Tom dreimal und mit Jim fünfmal durchgeführt. Es wurden dabei die gleichen klimatischen Bedingungen eingehalten wie im Tierstall: Raumtemperatur 28 °C und relative Luftfeuchte 60%. Das Respirationsgefäß war deshalb in einer begehbaren, fensterlosen Klimakammer aufgestellt. Zur Imitation des Tag-Nacht-Lichtwechsels wurde das Respirationsgefäß von 6-18 Uhr durch eine 60 W Glühbirne gleichmäßig beleuchtet. Bei Tom erfolgte mit diesem Licht die optisch-optoelektronische Registrierung der Tagesmotilität. Bei Jim wurde zusätzlich infrarotes Dauerlicht eingesetzt und damit seine Tag- und Nachtmotilität erfaßt.

3.1.3 Telemetriesystem zur Registrierung der KT

Das für die hier durchgeführten Untersuchungen neu entwickelte Telemetriesystem besteht aus dem implantierbaren Temperatursender, der Empfangsantenne und dem stationären Empfangsgerät, welches über eine Schnittstelle mit einem Computersystem verbunden ist (vgl. auch PETRY et al., 1988).

3.1.3.1 Elektrischer Aufbau des Senders

Der Sender gibt im UKW-Bereich (>108 MHz) intermittierend Impulse ab, deren zeitlicher Abstand (Impulsabstand) von der Meßtemperatur abhängt. Der Sender besteht aus 3 Funktionseinheiten (Abb.1):

- A. Stromversorgung mit Spannungsstabilisation,
- B. Signalerzeugung und
- C. Sendestufe.

Tabelle 1: Stückliste des Senders

Batterien	$U_1, U_2 = 2 \times 1.55$ Volt-Knopfzellen, 38 mAh, Varta V 392;
Chip-Kondensatoren	$C_1 = 200$ nF, $C_2 = 47$ pF, $C_4 = 10$ pF, $C_5 = 150$ pF, $C_6 = 6.8$ μ F;
Trimmkondensator	$C_3 = 5 - 25$ pF, TEKELEC 9615;
Chip-Widerstände	$R_1 = 2.7$ M Ω , $R_2 = 3.9$ M Ω , $R_4 \emptyset 1.0$ M Ω $R_5 = 10$ k Ω , $R_6 = 100$ Ω ;
Thermistor	$R_3 = 1$ M Ω , VALVO 2322 626 23105;
Transistoren	$T_1, T_2 =$ BFT 25;
NAND-Gatter	$G_{1-4} =$ HEF 4093 BT;
Spannungsregler	$S =$ ICL 7663 CSA;
Spule	$L = \emptyset = 8$ mm, $l = 10$ mm, 4 Windungen aus selbstklebendem Kupferband (0,79 mm breit);

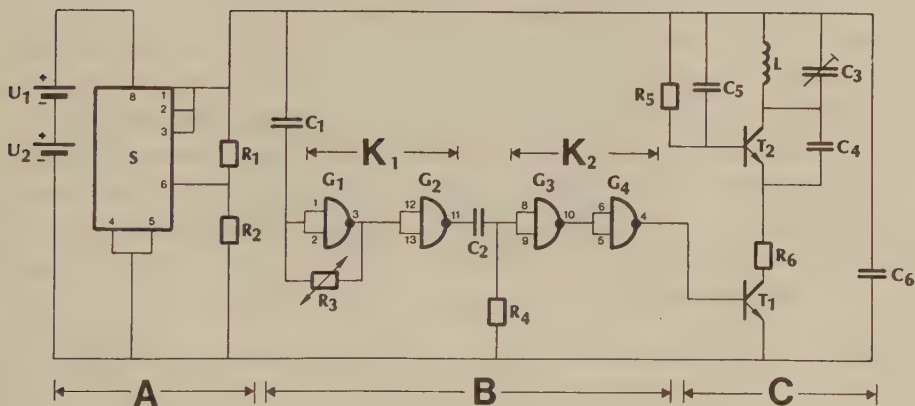


Abbildung 1:

Elektrisches Schaltbild des Senders

In Funktionseinheit A wird eine von der Batteriespannung unabhängige, konstante Betriebsspannung erzeugt: Der Sender wird mit 2 in Serie geschalteten 1,5-Volt-Knopfzellen U_1 , U_2 betrieben. Die dadurch anstehende Versorgungsspannung von etwa 3 Volt wird durch die beiden Widerstände R_1 und R_2 auf eine Betriebsspannung von 2,2 - 2,4 Volt festgelegt, die durch den Spannungsregler S konstant gehalten wird.

In Funktionseinheit B wird die Meßtemperatur in ein elektronisches Signal umgewandelt: die astabile Kippstufe K_1 , bestehend aus den beiden NAND-Gattern G_1 und G_2 , erzeugt ein symmetrisches Rechtecksignal, dessen Periodendauer (ms-Bereich) durch den Thermistor R_3 bestimmt wird. Sein Widerstand ändert sich mit der Meßtemperatur. Zur Energieeinsparung werden die Rechteckimpulse dann adäquat in der monostabilen Kippstufe K_2 , bestehend aus den beiden NAND-Gattern G_3 , G_4 , dem Kondensator C_2 und dem Widerstand R_4 , in extrem kurz andauernde Rechteckimpulse (μ s-Bereich) umgesetzt.

In Funktionseinheit C werden die elektrischen Meßimpulse in ein hochfrequentes Sendesignal umgewandelt: Der Transistor T_1 fungiert als Schalter, der im Takt der ankommenden Meßimpulse die Sendestufe ein- und ausschaltet. Aus den Werten der Spule L und des Trimmkondensators C_3 (Schwingkreis) ergibt sich die Sendefrequenz, die zusätzlich vom Wert des Rückkoppelungskondensators C_4 abhängt. Die Kondensatoren C_5 und C_6 dienen der Hochfrequenz-Stabilisierung der gesamten Schaltung.

3.1.3.2 Mechanischer Aufbau des Senders

Der Sender ist aus dem Sendeteil und einer daran befestigten Batteriefassung aufgebaut, die in einer Kapsel aus Glas dicht eingeschlossen ist.

Zur Herstellung des Sendeteiles wurden auf dem Gehäuse des NAND-Gatters alle übrigen elektronischen Bauteile des Senders mit 10s-Kleber¹ fixiert und anschließend verdrahtet. Nach Funktionsprüfung wurden die Bauteile - ausgenommen der Trimmkondensator - in Epoxyd-Gießharz² eingebettet, wobei ein Plastikröhrchen mit 8 mm Innendurchmesser³ als Form diente. Auf

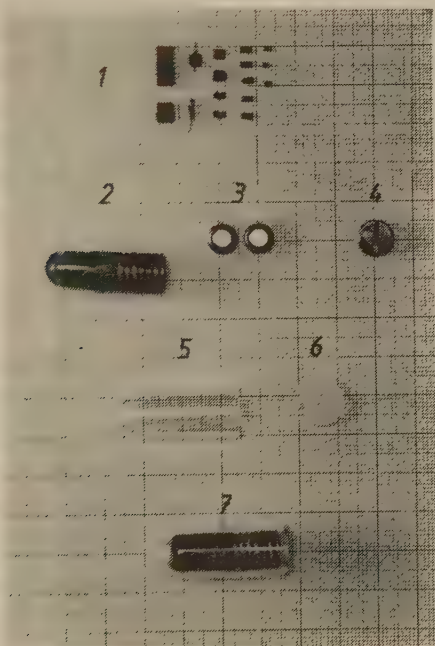


Abbildung 2:

Mechanischer Aufbau des Senders

¹UHU-10s-Kleber, UHU-Vertrieb GmbH, Bühl (Baden)

²SENO Universal Epoxydharz, ict, Schöffengrund

³z.B. Auslauf einer sog. Pasteurpipette aus Polyethylen

den so erhaltenen zylinderförmigen Epoxydharz-Körper wurde dann die Sendespule, ein selbstklebendes Kupferband, gewickelt. Nach dem elektrischen Anschluß von Spule und Batteriefassung wurde der Sendeteil mit Epoxydharz in Längsrichtung an die Batteriefassung angeschlossen. Zur Formgebung wurde dabei ein 10 mm weites Plastikröhrchen über den Sendeteil gezogen und dem entsprechenden Ende der Batteriefassung aufgesteckt. Der Sendeteil wurde nunmehr vollständig, d.h. inklusive des Trimmkondensators, mit Epoxydharz umgeben und erhielt dadurch einen guten Schutz gegen eventuelle mechanische Schädigung. Die beim Einbetten auftretende Drift der Sendefrequenz (durch den Kontakt des Trimmkondensators mit dem Gießharz ändert sich seine Dielektrizitätskonstante) wurde über den Trimmkondensator vor Aushärtung des Gießharzes korrigiert.

3.1.3.3 Batterieanschluß des Senders

Die Batteriefassung enthält die beiden in Reihe angeordneten Knopfzellen. Die Fassung wurde aus einer Glühlampenfassung E 10 gefertigt. Der elektrische Kontakt zum Sendeteil ist über 2 kurze, festverlötete Anschlußdrähte gesichert. Die Batterien werden in der Fassung durch eine von oben eingeschraubte, aus einem Glühlampensockel E 10 angefertigte, dünne Metallmutter aufeinandergepreßt und fixiert. Eine dünne Plastikhülle isoliert die Batterien gegen die Innenwandung der Fassung. Die elektrischen Kontakte der Batterien zur Fassung erfolgen über die genannte Metallschraube (+) und über die im Boden der Fassung belassene Öse aus Metall (-). Damit sind die Kontaktierungen stets zuverlässig gewährleistet.

3.1.3.4 Einkapselung des Senders

Zur Inbetriebnahme wurde der mit 2 fabrikfrischen Knopfzellen versehene Sender in eine reagenzglasähnliche Glaskapsel (Sonderanfertigung) eingesetzt. Zur Verbesserung der Wärmeleitung wurde die Kapsel mit einigen Tropfen Paraffinöl beschickt. Auf die Öffnung der Kapsel wurde dann eine etwa 1 mm dünne Glasscheibe mit UHU-plus¹ dicht aufgeklebt. Die fertige Senderkapsel hatte folgende Maße: Länge 34 mm, Durchmesser 13 mm, Gewicht 9 g. Zum Austausch erschöpfter Batterien wurde die Senderkapsel mit einem Diamantschneider geöffnet. Nach erfolgtem Batteriewechsel wurde der Sender zur Wiederinbetriebnahme in eine neue Glaskapsel eingeschlossen.

3.1.3.5 Implantation des Senders

Der Sender wurde vor der Implantation in die Bauchhöhle des Versuchstieres mit fabrikneuen Batterien versehen und geeicht. Zur Narkosevorbereitung wurde dem Tier die Nahrung für 24 h entzogen. Die Narkoseprämedikation erfolgte durch intramuskuläre Applikation von 0,3 ml Atropin/kg Körpermasse. Als eigentliches Narkotikum wurde das Steroidnarkotikum SAFFAN² mit der Dosis 2 ml/kg Körpermasse intramuskulär verabreicht².

Vor der Implantation wurde der Sender 30 Minuten lang in 75%igem Alkohol desinfiziert, anschließend in körperwarmer physiologische Kochsalzlösung eingelegt und unmittelbar vor der Implantation entnommen. Auf diese Weise wurden chemische und thermische Reizwirkungen vermieden.

¹ UHU-plus endfest 300, UHU-Vertrieb GmbH, Bühl (Baden)

² Glaxovet Ltd, Harefield, Uxbridge, Middx. UB96LS

Nach der Vorbereitung des Operationsfeldes wurde die Bauchhöhle des Versuchstieres durch einen 2 cm langen Schnitt in der Linea alba eröffnet. Dann wurde der Sender freibeweglich in die Bauchhöhle gegeben. Der Verschluß der Operationswunde erfolgte zunächst durch eine fortlaufende Naht von Bauchfell sowie Muskelschichten und dann durch eine fortlaufende intrakutane Naht mit VICRYL 3-0. Die Wunde wurde durch einen Verband vor Manipulationen durch das Tier geschützt.

Mit der telemetrischen Registrierung der KT von Tom und Jim wurde jeweils noch während des Narkoseschlafes begonnen. Wegen des Ausfalls der Temperaturregulation lag die KT der Tiere zunächst noch unterhalb des Meßbereiches des Telemetrie-systems ($<35^{\circ}\text{C}$). Erst durch den Einsatz einer IR-Lampe zur Erwärmung des Tieres stieg ihre Temperatur auf das physiologische Niveau an.

Nach Erschöpfung der Batterien wird die Explantation der Senderkapsel in entsprechender Weise vorgenommen.

3.1.3.6 Empfänger

Der Empfänger ist für 5 Sender ausgelegt, wovon jeweils einer für die anstehende Temperaturmessung eingesetzt wurde.

Der Empfänger besteht aus 4 Funktionseinheiten (Abb.3):

- A. Signalaufbereitung
- B. Meßwertbildung
- C. Taktgenerator
- D. Störungslogik

Funktionseinheit A verwandelt die vom Sender ankommenden HF-Signale in einheitliche Digitalimpulse. Dazu wird das über die Antenne ankommende HF-Signal vom Tuner demoduliert. Das so erhaltene NF-Signal wird für die weitere Verarbeitung verstärkt, in zwei Filterstufen bezüglich seines Frequenzberei-

ches und seiner Amplitude selektiert und anschließend digitalisiert. Zur optimalen Einstellung des Tuners auf die Frequenz des Senders wird die Amplitude des Signals durch ein analoges Meßinstrument angezeigt.

Funktionseinheit B wandelt den zeitlichen Abstand der Digitalimpulse in eine proportionale Spannung um: Zunächst wird der Impulsabstand mittels eines Zählers in einen entsprechenden Zahlenwert (Z_M) umgesetzt. Für eine größtmögliche Auflösung ($0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) wird nur der Temperaturbereich zwischen $35\text{--}41\text{ }^{\circ}\text{C}$ ausgewertet. Wie Abbildung 4 zeigt, muß dazu die der Temperatur $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ entsprechende Totzeit unterdrückt werden. (Die Meßzeit beginnt wegen des negativen Temperaturkoeffizienten des

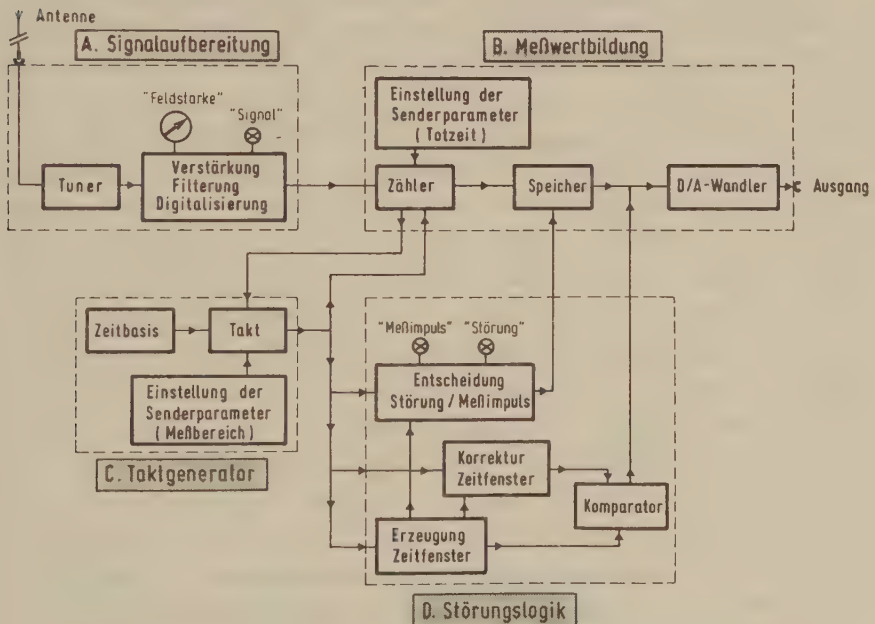


Abbildung 3:

Blockschaltbild des Empfängers

Thermistors (Heißeiter) bei 41 °C und endet bei 35 °C). Die Totzeit ist - bedingt durch Bauteile-Toleranzen - senderspezifisch und wird für jeden Sender als charakteristischer Zahlenwert (Z_T) einem Einstellglied eingegeben. Zu Beginn eines jeden Meßimpulses wird der Zähler auf diesen Zahlenwert (Z_T) gesetzt. Der Zähler beginnt nun mit einer Rückwärtszählung und ist nach Ablauf der Totzeit beim Wert 0 angelangt. Damit sind Anfangswert des gewünschten Temperaturbereiches und Beginn der Meßzeit erreicht. Der Zähler zählt nun aufwärts bis der nächste Meßimpuls eintrifft. Der zeitliche Abstand zum vorausgegangenen Meßimpuls ist der momentanen Meßtemperatur proportional. Der aufgelaufene Zählerendstand (Zahlenwert Z_M) entspricht somit der Meßtemperatur. Akzeptiert die Störungslogik (Funktionseinheit D) den Zahlenwert (Z_M) als Meßwert, so übernimmt ihn der Speicher. Ein Digital-Analog-Wandler

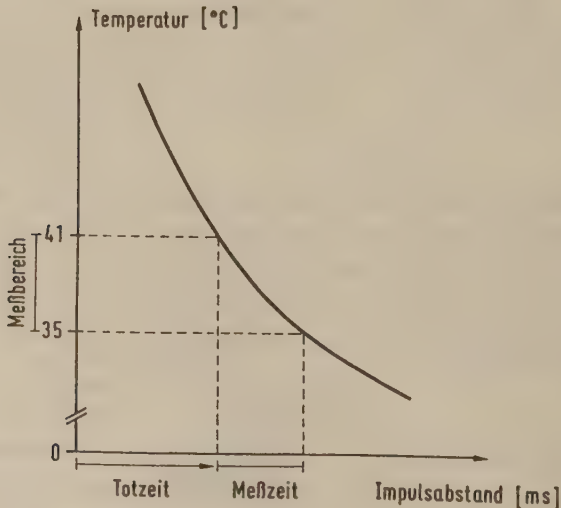


Abbildung 4:

Zusammenhang zwischen Impulsabstand und Temperatur

transformiert ihn zur weiteren Verarbeitung in einen proportionalen Spannungswert.

In Funktionsteil C erzeugt ein spannungsgesteuerter Oszillator (VCO) die notwendige Taktfrequenz. Über sie wird der zeitliche Abstand zweier Digitalimpulse in einen entsprechenden Zahlenwert umgewandelt. Um zu verhindern, daß sich wegen Bauteile-Toleranzen (hier: Zeitverhalten des R_3C_1 -Gliedes des Senders) unterschiedliche Zahlenwerte für dieselbe Meßtemperatur ergeben, wird die Taktfrequenz über ein Einstellglied senderspezifisch justiert. Zur Vermeidung einer Langzeitdrift wird die Taktfrequenz mit einer quarzstabilisierten Zeitbasis verglichen und gegebenenfalls automatisch nachgeregelt.

In Funktionseinheit D werden nicht vom Sender kommende Digitalimpulse von einer Störungslogik als Störung "erkannt" und eliminiert, d.h., der aus solchen Impulsen gebildete Meßwert wird nicht in den Speicher der Funktionseinheit B übernommen. Als Entscheidungskriterium wird durch eine Diskriminator-schaltung ein Zeitfenster gebildet, in welchem der nächste Meßimpuls erscheinen muß, um als Meßwert akzeptiert zu werden. Das Zeitfenster wird erzeugt, indem ein Zähler von einem bestimmten Zählerstand an aufwärts zählt. Dieser Zählerstand wurde gewonnen aus dem zeitlichen Abstand der vorausgegangenen Digitalimpulse. Der augenblickliche Zählerstand wird dann ständig mit dem in der Funktionseinheit B abgespeicherten Meßwert durch einen Komparator verglichen. Stimmen beide Werte überein, wird der Beginn des Zeitfensters definiert und bei einem nunmehr ankommenden Digitalimpuls der Meßwert abgespeichert. Die Dauer des Zeitfensters wird durch einen weiteren Zähler bestimmt. Erreicht dieser einen fest eingestellten Zählerstand, wird das Ende des Zeitfensters definiert. Erscheint ein Impuls nicht in der Mitte des Zeitfensters, d.h. zu früh oder zu spät, wird die Lage des Zeitfensters korrigiert, indem die Voreinstellung des Zählers für den Beginn

des Zeitfensters um den Wert 1 erhöht oder erniedrigt wird. Die Entscheidung der Störungslogik, ob Meßimpuls oder Störung, wird durch entsprechende Leuchtdioden angezeigt.

Die 4 Funktionseinheiten des Empfängers sind in einem Gehäuse (32 * 15 * 22 cm) aus Stahlblech untergebracht. Alle Bedienungs- und Kontrollelemente befinden sich auf der Gehäusfrontplatte; die verschiedenen Anschlußbuchsen sind auf der Rückseite angebracht.

Bei der Registrierung der KT der Versuchstiere im Stall wurde zum Empfang der Sendesignale eine Einstab-Teleskop-Antenne benutzt, die zentral durch den Meßkäfig verlief (S.20). Bei den KT-Messungen im Respirationsversuch wurde eine Stab-Antenne außerhalb des Respirationsgefäßes in wenigen cm Abstand aufgestellt. Die optimale Länge der Antenne wurde mit 70 cm für $\lambda/4$ errechnet. Die Wellenlänge $\lambda = 2,8$ m des Sendesignals ergab sich aus der Sendefrequenz $f \approx 108$ MHz und der Lichtgeschwindigkeit $c = 3 * 10^8$ m/s ($\lambda = c/f$). Die Antenne war über eine abgeschirmte HF-Leitung mit dem Empfänger verbunden.

3.1.3.7 Eichung des Systems

Der Sender wurde in ein konstant arbeitendes Wasserbad¹ gebracht, dessen Temperatur mit Hilfe eines geeichten Thermometers² auf 1/10 °C genau gemessen wurde. Im Bereich von etwa 34 - 42 °C (Meßbereich = 35 - 41 °C) wurden für verschiedene

¹ Ultra-Thermostat von HAAKE, Berlin

² Anschütz-Thermometer von BENDER & HOBEIN, München

Temperaturen die jeweiligen zeitlichen Abstände der vom Sender abgegebenen Impulse ermittelt. Die Messung der Impulsabstände erfolgte mit einem elektronischen Universalzähler¹, der über ein Koaxialkabel mit der entsprechenden Ausgangsbuchse des Empfängers verbunden war. Anhand der erhaltenen Wertepaare (Meßtemperatur T in °C; Impulsabstand t in ms) wurde dann der quantitative Zusammenhang zwischen Meßtemperatur und Impulsabstand über eine semilogarithmische Regressionsgleichung berechnet.

Für Sender 1 z.B. ergab sich die folgende Beziehungsgleichung

$$t = 67577,07 \cdot T^{-1,67}$$

mit dem Korrelationskoeffizienten $r = 0,9996$.

Aus dieser Gleichung ergaben sich nach Einsetzen der Grenzwerte T_1 und T_2 des gewünschten Temperaturmeßbereiches (35-41 °C) die korrespondierenden Impulsabstände t_1 und t_2 :

$$\begin{array}{ll} T_1 = 41 \text{ °C} & t_1 = 138,53 \text{ ms} \\ T_2 = 35 \text{ °C} & t_2 = 180,34 \text{ ms} \end{array}$$

Hieraus folgt, daß der Temperaturdifferenz $\Delta T = 6 \text{ °C}$ (Meßbereich) die zeitliche Differenz $\Delta t = 41,81 \text{ ms}$ der Impulsabstände entspricht².

Zum Abgleich des Meßbereiches am Empfänger wurde nun die in Funktionseinheit C gebildete Taktfrequenz so eingestellt, daß der Zähler in Funktionseinheit B innerhalb von 41,81 ms seinen Endstand von 1800 erreicht. Die Taktfrequenz errechnete sich zu $1800 : 41,81 \text{ ms} = 43,05 \text{ kHz}$.

¹Universalzähler UZ 144, Grundig

²Für den Sender 2 ergaben sich folgende technische Daten:

$$\begin{array}{ll} t = 71492,56 \cdot T^{-1,68} & \text{mit } r = 0,9996 \\ T_1 = 41 \text{ °C} & t_1 = 136,83 \text{ ms} \\ T_2 = 35 \text{ °C} & t_2 = 178,64 \text{ ms} \end{array}$$

Der Impulsabstand $t_1 = 138,53 \text{ ms}$ bei der Meßtemperatur $T_1 = 41 \text{ }^\circ\text{C}$ entspricht der Totzeit (vgl. Abb.4). Diese Zeit wird als digitaler Zahlenwert Z_1 einem Einstellglied in Funktionseinheit B des Empfängers empirisch eingegeben (S.32).

3.1.3.8 Meßwertverarbeitung

Die Weiterverarbeitung der am Ausgang der Funktionseinheit B kontinuierlich anstehenden Analogspannung erfolgte durch das Computersystem (S.39), welches mit dem Empfänger über eine Schnittstelle verbunden war. Diese fungierte als Analog-Digital-Wandler und setzte die Meßspannung von $0,05 - 0,95 \text{ V}$ für $35 - 41 \text{ }^\circ\text{C}$ größenabhängig in eine Zahl zwischen $0 - 90$ um (Computer-Kompatibilität). Das Auflösungsvermögen des Meßsystems lag demnach bei $> 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ($T = 6 \text{ }^\circ\text{C} : 90 = 0,07 \text{ }^\circ\text{C/Impuls}$).

Im Rechenprogramm des Computers wurde die logarithmische Sender-Kennlinie, die aus dem nichtlinearen Zusammenhang zwischen Meßtemperatur und Widerstandsänderung des Thermistors im Sender resultiert, linearisiert. Zur Durchführung dieser Operation wurden dem Computer vor der Temperaturmessung die senderspezifischen Koeffizienten aus obiger Regressionsgleichung eingegeben.

3.1.4 Registrierung der Spontanaktivität

Die Spontanaktivität der Versuchsaffen wurde mit einem auf optisch-optoelektronischer Grundlage arbeitenden Meßverfahren erfaßt (PETRY, 1983): Mittels einer optischen Linse wird ein Bild des Versuchstieres auf mehrere, in einer Wheatstone-schen Meßbrücke zusammengeschaltete Fotowiderstände projiziert.

ziert. Bei Bewegungen des Tieres ergeben sich durch wechselnde Belichtung der einzelnen Fotowiderstände Änderungen des Brückenstromes. Sie werden als Maß für die körperliche Aktivität des Versuchstieres registriert.

Diese Stromänderungen (=Tierbewegungen) wurden hier unabhängig von Größe und Richtung gezählt (Bewegungszählung im Sinne einer Ja-Nein-Entscheidung). Damit wurde die Bewegungshäufigkeit als Maß für die Bewegungsaktivität erfaßt.

Als Meßstrahlung für die optisch-optoelektronische Bewegungsmessung wurde zunächst sichtbares Licht verwendet. Deshalb konnte nur die Bewegungsaktivität der Tiere am Tage, d.h. in der Beleuchtungsphase von 6-18 Uhr, aufgezeichnet werden.

Die Motilitätsmessung bei Dunkelheit wurde schließlich durch weitere Optimierung des optisch-optoelektronischen Meßverfahrens (PETRY, 1988a) möglich: Anstelle des sichtbaren Lichtes ($\lambda = 380-780 \text{ nm}$) wurde als Meßstrahlung nicht sichtbares,

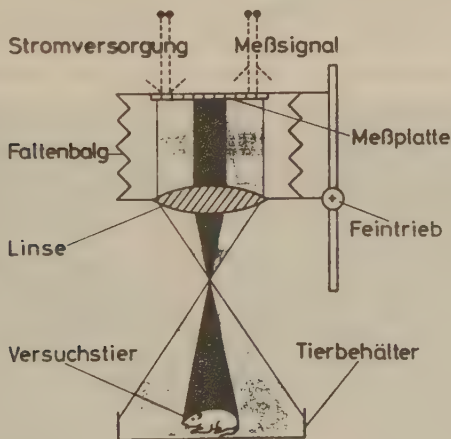


Abbildung 5:

Prinzip des optisch-optoelektronischen Motilitätsmeßverfahrens (aus PETRY, 1983).

infrarotes Dauerlicht ($\lambda > 780 \text{ nm}$) verwendet. Für die Hellphase wurde zusätzlich sichtbares Licht zugeschaltet, wogegen der Meßwertaufnehmer durch ein Sperrfilter abgeschirmt war. Durch die simultane Verwendung von sichtbarem Intervalllicht (Hell-Dunkel-Wechsel) und für das Tier nicht sichtbarem infrarotem Dauerlicht (Meßstrahlung) war die Registrierung der Tag- und Nachtmotilität mit gleicher Empfindlichkeit möglich.

3.1.5 Messung der Energieumsatzrate

Die Energieumsatzrate der Versuchsaffen wurde nach dem Prinzip der indirekten Kalorimetrie aus dem Gaswechsel der Tiere in einer halbautomatischen Respirationsanlage ermittelt (PETRY, 1971). CO_2 -Produktion und O_2 -Verbrauch der Affen wurden mit Hilfe schnell anzeigender, physikalischer Gasanalytoren kontinuierlich gemessen (CO_2 im URAS / Infrarot-Absorptionsverfahren; O_2 im OXYTEST S / paramagnetisches Meßverfahren).

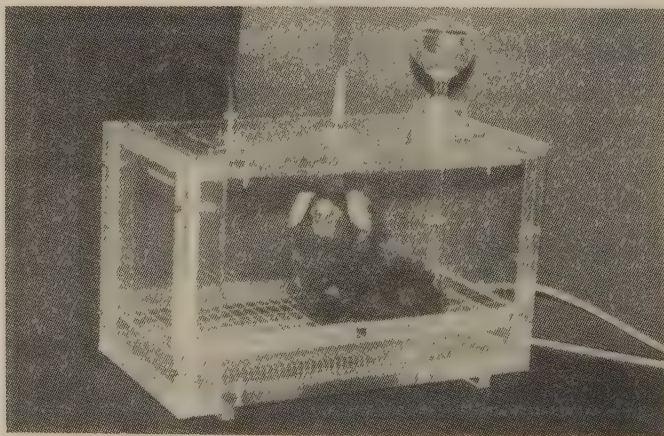


Abbildung 6:

Respirationsgefäß mit Weißbüscheläffchen

Das Respirationsgefäß war an die Größe des Versuchstieres angepaßt, in Rechteckform (38 · 18 · 23 cm) aus Plexiglas gefertigt und in einer begehbaren Klimakammer (240·115·180 cm) aufgestellt. An das Respirationsgefäß konnte eine Tränkeflasche und ein elektromagnetisch betätigter Futterautomat luftdicht montiert werden.

3.1.6 Meßwertregistrierung

Alle zur Registrierung von Spontanaktivität, Körpertemperatur und Energieumsatzrate anfallenden Meßwerte wurden einer Schnittstelle zugeführt, dort computerkompatibel gemacht und dann einem COMMODORE Personalcomputer-System zugeführt. Die einzelnen Meßkanäle wurden im 3-sec-Takt abgefragt. Nach rechnerischer Aufbereitung wurden die Meßdaten direkt als Momentanwerte am Monitor des Computers (Modell 4016) angezeigt sowie für vorwählbare Meßintervalle als Durchschnitts- oder Summenwerte auf Datenkassetten abgespeichert (Floppy Disk, Modell 8050) bzw. numerisch oder graphisch in Form von Histogrammen ausgedruckt (Drucker, Modell 4022).

Wie bereits erwähnt (S.36), wurde im Rechenprogramm des Computers die nicht lineare Kennlinie des Temperatursenders korrigiert. Weiterhin wurde durch zeitliches Versetzen der Meßintervalle von Motilität und Energieumsatzrate die verzögerte Registrierung der Gaswechseldaten berücksichtigt (Totzeit für die Gasströmung vom Respirationsgefäß zu den Gasanalysatoren).

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Zuverlässigkeit des Telemetriesystems

Mit dem beschriebenen Telemetriesystem konnte die KT der Callithrix-Affen zuverlässig erfaßt werden. Sie konnte jeweils kontinuierlich über einen langen Zeitraum aufgezeichnet werden, ohne das betreffende Versuchstier zu berühren oder in seiner Bewegungsfreiheit zu beeinträchtigen. Nur so konnten die eigentlichen physiologischen KT-Werte der Tiere gemessen und der Einfluß verschiedener Faktoren geprüft werden. Die absolut störungsfreie Registrierung der KT ermöglichte auch deren fehlerfreie Messung in der Schlafphase der Tiere und somit die Erfassung der circadianen Rhythmik der KT. Darüberhinaus konnte der Einfluß von Umgebungstemperatur, Ernährungszustand und Bewegungsaktivität studiert werden. Schließlich ermöglichte das Telemetriesystem die kontinuierliche Messung der KT der Tiere simultan zu ihrem Gaswechsel in längerfristigen Respirationsversuchen (2 Tage) und dadurch die Untersuchung der Korrespondenz zwischen Energieumsatzrate und KT.

Die Funktionsdauer des Senders (Zeitspanne vom Anschluß der Batterien bis zum Einstellen der Sendeleistung) betrug bei Tom nahezu 6 Monate (20.8.86 - 13.2.87) und bei Jim etwas über 7 Monate (15.5.87 - 28.12.87). Somit erreichten diese beiden Sender die theoretische Dauer der Sendeleistung von 6,5 Monaten, die sich folgendermaßen berechnet: Die Gesamtstromaufnahme des Senders beträgt 8 μ A und ergibt sich aus den Stromaufnahmen der beiden Funktionseinheiten¹ A und B

¹ vgl. S.30

(zusammen $5,4 \mu\text{A}$) und der Funktionseinheit C ($2,6 \mu\text{A}$). Die mittlere Stromaufnahme der Funktionseinheit C wird von der effektiven Einschaltzeit der Sendestufe bestimmt. Durch den intermittierenden Betrieb mit einer Impulsdauer von $115 \mu\text{s}$ und einem Impulsabstand von 153 ms (Verhältnis 1:1330) reduziert sich die eigentliche Stromaufnahme von $3,5 \text{ mA}$ auf die oben genannten $2,6 \mu\text{A}$. Entsprechend der Batteriekapazität von 38 mAh ergibt sich die theoretische Funktionsdauer des Senders von 4750 Stunden bzw. 6,5 Monaten.

Die beiden Sender wurden dem betreffenden Versuchstier jeweils etwa 1 Woche nach dem Einsetzen der Batterien implantiert. Während dieser Zeit wurde nach Eichung die Meßgenauigkeit der Sender mehrmals überprüft. Dazu wurde der Sender in ein regulierbares Wasserbad gebracht und die von ihm gemessene und vom Computer aufgezeichnete Wasserbadtemperatur mit der durch ein Digitalthermometer ($\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$) angezeigten Wassertemperatur verglichen. Diese Vergleichsmessungen wurden bei verschiedenen Wassertemperaturen im Meßbereich ($35\text{--}41 \text{ }^\circ\text{C}$) mehrmals durchgeführt. Das Ergebnis einer solchen Meßreihe (Sender 1) ist in Tabelle 2 festgehalten. Sie zeigt, daß der

Tabelle 2: Darstellung des Meßfehlers

Wasserbadtemperatur in $^\circ\text{C}$

Ablesung am Thermometer	Anzeige am Computer
$35,41 \pm 0,06$	$35,32 \pm 0,07$
$36,09 \pm 0,09$	$36,19 \pm 0,04$
$36,87 \pm 0,09$	$36,80 \pm 0,08$
$38,45 \pm 0,03$	$38,51 \pm 0,04$
$39,04 \pm 0,05$	$39,96 \pm 0,07$
$40,19 \pm 0,07$	$40,10 \pm 0,08$
$40,80 \pm 0,09$	$40,88 \pm 0,02$

vom Computer angezeigte Wert um maximal $\pm 0,1$ °C von der mit dem Thermometer gemessenen Wasserbadtemperatur abwich.

Bei diesen Messungen ergab sich, daß jede Temperaturänderung des Wasserbades vom Sender stets verzögert angezeigt wurde. Dies erklärt sich durch den im Sender jeweils stattfindenden Wärmeausgleich. Der zeitliche Verlauf dieses Ausgleichsvorganges wird durch eine e-Funktion bestimmt. Theoretisch wird deshalb die neue Temperatur unabhängig von Größe und Vorzeichen der Temperaturdifferenz immer erst nach einer unendlich großen Zeit erreicht. Um den Ausgleichsvorgang zu charakterisieren, kann man die gut meßbare Halbwertszeit oder die 90%-Zeit angeben. Darunter versteht man die Zeit, die verstreicht, bis die Hälfte bzw. 90% einer Temperaturänderung angezeigt werden.

Zur Bestimmung der senderspezifischen Einstellzeit wurde der betreffende Telemetriesender zusammen mit einem elektronischen und damit sehr schnell anzeigenden Temperaturfühler (Widerstandsthermometer) aus einem Wasserbad mit der konstanten Temperatur T_A herausgenommen und schnellstens in ein zweites Wasserbad mit der konstanten Temperatur T_E eingetaucht. Dabei wurden einerseits der Meßwert des Senders und der Meßwert des Temperaturfühlers synchron durch einen Zweikanal-Linienschreiber kontinuierlich in analoger Form aufgezeichnet (Abb.7) und andererseits der Meßwert des Senders im 30 s-Abstand vom Computer digital registriert. Diese Messungen wurden für einen Sender mehrmals mit $T_A > T_E$, $T_A < T_E$ und jeweils unterschiedlichem ΔT im Sender-Meßbereich durchgeführt.

Wie Abbildung 7 zu erkennen gibt, zeigte der elektronische Temperaturfühler die Temperaturänderung praktisch verzögerungsfrei an. Im Gegensatz dazu näherte sich die Temperatur des Senders asymptotisch der neuen Temperatur T_E . Dies erklärt sich dadurch, daß beim elektronischen Temperaturfühler der Thermistor direkt der Umgebungstemperatur ausgesetzt war.

Beim Sender dagegen war der Thermistor zusammen mit den übrigen elektronischen Bauteilen in Epoxydharz eingegossen und zusätzlich von der Glaskapsel umgeben. Die Temperaturanpassung dieser Bauteile bedingt die verzögerte Erwärmung des Senderthermistors und damit die "verspätete" Anzeige des neuen Meßwertes.

Der Temperaturverlauf des Senders für $T_A > T_E$ (Temperaturabfall) verläuft nach der e-Funktion

$$T = T_E + \Delta T \cdot e^{-k \cdot t}$$

Der Temperaturverlauf des Senders für $T_A < T_E$ (Temperaturanstieg) verläuft nach der e-Funktion

$$T = T_E - \Delta T \cdot e^{-k \cdot t}$$

Dabei bedeuten: T = Momentantemperatur

T_A = Anfangstemperatur

T_E = Endtemperatur

$\Delta T = T_A - T_E$

k = Zeitkonstante

t = Meßzeit

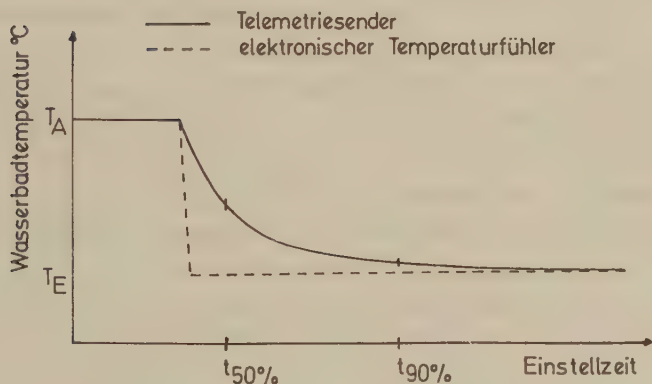


Abbildung 7:

Einstellzeit des elektronischen Temperaturfühlers und des Temperatursenders für die Temperaturänderung $T_A \rightarrow T_E$

Durch entsprechendes Einsetzen von Meßwertpaaren t_1, T_1 und t_2, T_2 innerhalb der Temperaturänderung T_A nach T_E in die obigen Gleichungen wurde die Zeitkonstante k ermittelt. Sie ergab sich aus dem Durchschnitt von 19 Messungen für Sender 1 mit $k = 0,971 \pm 0,088$. Seine Halbwertszeit $t_{0.5} = \ln 2 \div k$ betrug somit $0,71 \pm 0,06$ min; seine 90%-Zeit $t_{0.9} = \ln 10 \div k$ belief sich auf $2,37 \pm 0,21$ min¹. Für Sender 2 errechneten sich diese Parameter mit $t_{0.5} = 0,68 \pm 0,07$ min und $t_{0.9} = 2,26 \pm 0,25$ min.

Die Auflösung der telemetrischen Temperaturregistrierung lag bei $< \pm 0.1$ °C, so daß selbst geringe KT-Änderungen der Versuchstiere angezeigt wurden.

Der nach entsprechenden Literaturhinweisen über die KT von Callithrix-Affen empirisch festgelegte Meßbereichsumfang zwischen 35 - 41 °C genügte bezüglich des oberen Grenzwertes vollauf. Für den unteren Grenzwert wäre dagegen eine Absenkung um 1 - 2 °C wünschenswert gewesen. Der hier gewählte untere Temperaturwert von 35 °C wurde nämlich überraschenderweise unterschritten, wenn die Affen im Schlaf einer Umgebungstemperatur von 24 °C ausgesetzt waren und zusätzlich hungern mußten (Abb.15).

Die Reichweite des Senders betrug etwa 5 m. Diese Abstrahlleistung war entsprechend des hier vorgesehenen Einsatzes des Senders im Tierstall und im Respirationsversuch ausreichend, da der Abstand zwischen Antenne und Sender stets < 5 m war.

¹ z.B. für $\Delta T = 90\%$ gilt $e^{-k \cdot t} = 0,1$;
 daraus folgt $t_{0.9} = \ln 10 \div k$;
 für $k = 0,971$ ist dann $t_{0.9} = 2,37$ min.

Die Implantation des Temperatursenders und seine spätere Explantation nach Erschöpfen der Batterien wurden mit Hilfe der Chirurgischen Tierklinik der Universität München durchgeführt und verliefen jeweils ohne Komplikationen. Obwohl von einer Antibiotika-Applikation nach der jeweiligen Operation abgesehen wurde, traten keine Infektionen auf. Um die Rekonvaleszenz der Versuchstiere überprüfen zu können, wurde direkt im Anschluß an die Implantation des Senders mit der telemetrischen Aufzeichnung der KT begonnen. In Abbildung 8 sind für den Versuchsaffen Tom die diesbezüglichen Meßdaten festgehalten, wobei zur besseren Darstellung des sich ändernden Temperaturverlaufes die Tagesdurchschnittswerte (6-18 Uhr) und die Nachtdurchschnittswerte (18-6 Uhr) durch gesonderte Linien verbunden sind: In den ersten 3 Tagen nach der Implantation betrug die KT bei Tag und Nacht gleichermaßen ca. 39 °C. Danach sank die KT bei Nacht bis zum 8. Tag p.o. allmählich ab, und es stellte sich dann eine durchschnittliche

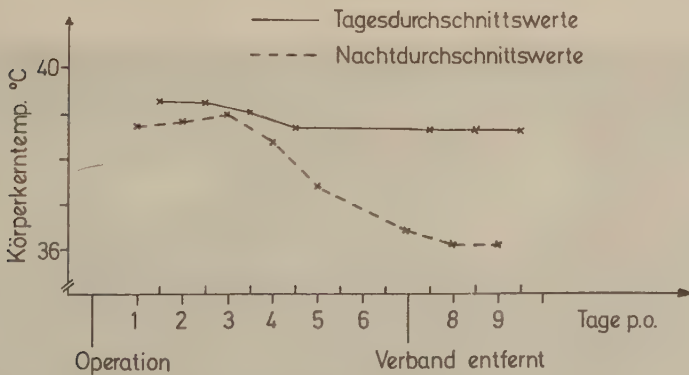


Abbildung 8:

Durchschnittswerte der KT bei Tag und bei Nacht in den ersten Tagen nach der Senderimplantation

Tag-Nacht-Temperaturschwankung von 2,5 °C ein. Wie die späteren Messungen zeigten, entsprach dieser Wert der physiologischen, circadianen KT-Amplitude von Tom. Die Rekonvaleszenzphase nach der Sender-Implantation konnte deshalb mit dem 8. Tag p.o. für abgeschlossen betrachtet werden. Dieser Befund wurde durch die bei Jim ebenfalls sofort nach der Senderimplantation begonnene KT-Messung bestätigt. Abbildung 9 zeigt die Röntgenaufnahme des Versuchsaffen Jim mit implantiertem Sender.

Im weiteren Verlauf der Untersuchung zeigten Tom und Jim gegenüber unbehandelten Versuchstieren keine Abweichung in ihrem Wohlbefinden. Ihr Verhalten, die körperliche Aktivität sowie die Futteraufnahme waren ungestört. Beide Tiere waren offenbar durch das Implantat nicht beeinträchtigt.

Bei der späteren Explantation des Senders zeigte sich, daß dieser auch nach 6 Monaten noch frei beweglich in der Bauchhöhle war und keine Einbettung in fibroplastisches Material stattgefunden hatte.

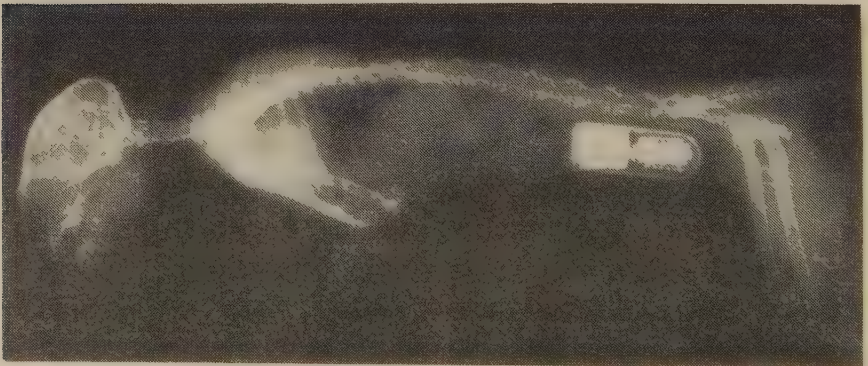


Abbildung 9:

Röntgenaufnahme des Versuchsaffen Jim mit implantiertem Sender (links: Batteriefassung; rechts: Senderplatine mit Elektronik und Sendespule)

3.2.2 Versuchsergebnisse

Höhe und circadiane Rhythmik der KT (Versuchsreihe I)

Der diurnale Verlauf der Körperkerntemperatur der beiden Versuchsaffen Tom und Jim ist in Abbildung 10 wiedergegeben. Zur Darstellung der Kurven wurden bei Tom für 28 Versuchstage und bei Jim für 10 Versuchstage die Stundendurchschnittswerte der KT errechnet und in Abhängigkeit von der Tageszeit eingezeichnet:

Beide Versuchstiere zeigten eine deutliche circadiane Rhythmik im Verlauf der KT. Tagsüber verlief die Temperaturkurve

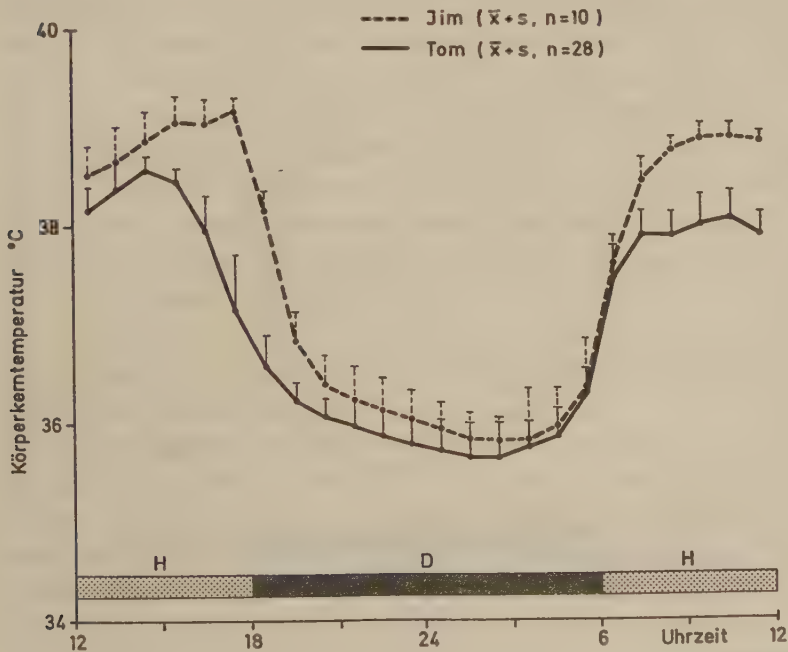


Abbildung 10:

Circadianer Verlauf der KT der beiden Callithrix-Affen (Angabe der mittleren Stundenwerte mit Standardabweichungen)

bei beiden Tieren zweigipflig. Zwischen den jeweiligen Temperaturmaxima am Vormittag und am Nachmittag lag ein Tiefpunkt um die Mittagszeit. Dieser Befund ist in Abbildung 10 allerdings weniger deutlich zu erkennen, da dort der Temperaturverlauf am Vormittag und Nachmittag durch die Nachtabsenkung getrennt dargestellt ist. In der Nacht fiel die KT der beiden Tiere deutlich unter den Tageswert ab. Die Absenkung vom Tag- auf das Nachtniveau fand bei beiden Tieren etwas zeitlich versetzt statt. Bei Tom war sie um 18 Uhr (Wechsel von der Hell- zur Dunkelphase durch Ausschalten der Raumbeleuchtung)

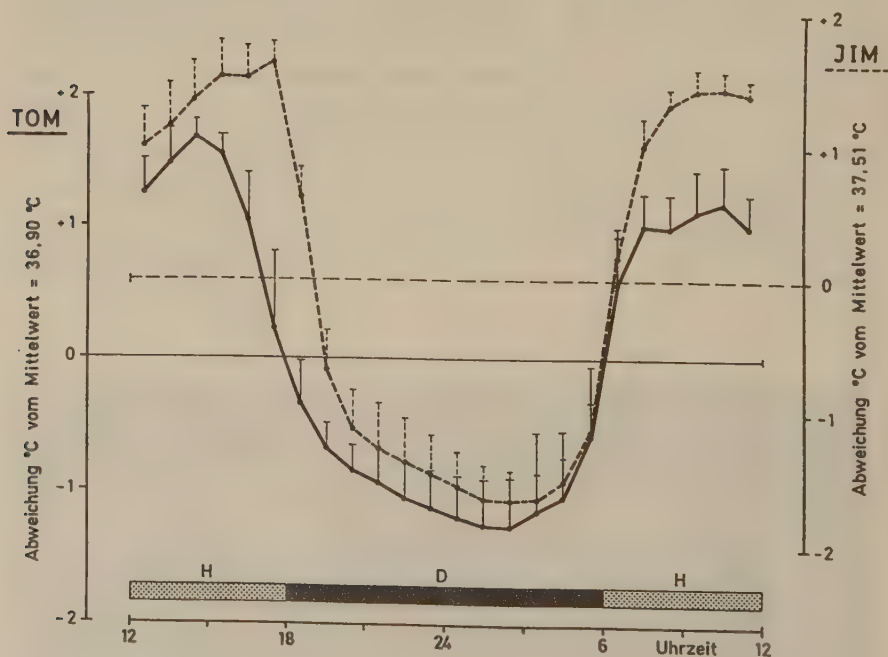


Abbildung 11:

Circadianer Rhythmus der KT der beiden Callithrix-Affen (Abweichungen der mittleren Stundenwerte vom summarischen Mittelwert über 28 (Tom) bzw. 10 (Jim) Versuchstage).

nahezu abgeschlossen, während sie bei Jim zu diesem Zeitpunkt erst einsetzte. Bei beiden Tieren stieg dann die KT nach einem Minimum in den frühen Morgenstunden gleichermaßen um 6 Uhr mit Beginn der Hellphase (Einschalten der Raumbelichtung) auf das Tagesniveau an. Die KT von Jim war insgesamt etwas höher als die von Tom, wobei die Differenz am Tag größer war als in der Nacht.

In Abbildung 11 sind zur weiteren Verdeutlichung der circadianen Rhythmik der KT der beiden Affen die jeweiligen Abweichungen der einzelnen Stundendurchschnittswerte vom betreffenden Temperaturmittelwert für die gesamte Versuchsdauer aufgezeigt. Das oben erwähnte, höhere durchschnittliche Temperaturniveau von Jim ist durch entsprechendes Versetzen der beiden Kurvendiagramme dargestellt. Wie die Abbildung zeigt, sind die Abweichungen der Stundendurchschnittswerte vom summarischen Mittelwert tagsüber bei beiden Versuchsaffen nahezu gleich, nachts dagegen bei Jim deutlich größer. Wiederum fällt bei Jim der zeitlich verzögerte Temperaturabfall am Abend auf, wogegen der Temperaturanstieg am Morgen bei beiden Tieren synchron verläuft.

Die numerischen Meßergebnisse der Versuchsreihe I sind in Tabelle 3 zusammengefaßt:

Die Tagestemperaturwerte von Jim waren durchschnittlich um $0,7^{\circ}\text{C}$ höher als bei Tom, die Differenz bei den Nachtwerten betrug dagegen nur $0,2^{\circ}\text{C}$. Die Schwankungen im Verlauf eines Tages waren bei beiden Affen jedoch sehr ähnlich. Die Differenz zwischen dem mittleren maximalen und dem mittleren minimalen Tageswert betrug bei Jim $1,1^{\circ}\text{C}$ und bei Tom $1,4^{\circ}\text{C}$. Zwischen dem mittleren Tageswert und dem mittleren Nachtwert war sie $3,0$ bzw. $2,5^{\circ}\text{C}$ und zwischen dem mittleren Tagesmaximum und dem mittlerem Nachtminimum $3,6$ bzw. $3,3^{\circ}\text{C}$. Als Extremwerte für diese letzte Differenz wurden sogar $4,3$ bzw. $4,0^{\circ}\text{C}$ gemessen.

Tabelle 3:

Körpertemperatur von Callithrix-Affen (Zusammenstellung der Ergebnisse aus Versuchsreihe I)

VERSUCHSAFFE	JIM	TOM
Geburtsjahr	*1977	*1981
Körpermasse (g)	288 ± 14	377 ± 6
Aktivität (Bewegungen/24h)	16715 ± 3568	11228 ± 1499
Versuchstage	10	28
KÖRPERKERNTEMPERATUR °C (x ± s)		
Summarischer Mittelwert ¹⁾	37,5 ± 0,1	36,9 ± 0,2
Mittl. Tageswert (8-10 + 14-16Uhr)	38,9 ± 0,1	38,2 ± 0,1
Mittl. Vormittagswert (8-10Uhr)	38,8 ± 0,2	37,9 ± 0,2
Mittl. Nachmittagswert (14-16Uhr)	39,0 ± 0,3	38,5 ± 0,1
Mittl. maximaler Tageswert	39,3 ± 0,3	38,8 ± 0,1
Mittl. minimaler Tageswert	38,2 ± 0,2	37,4 ± 0,2
Mittl. Nachtwert (0-2Uhr)	35,9 ± 0,2	35,7 ± 0,3
Mittl. Nachtminimum	35,7 ± 0,2	35,5 ± 0,3
Differenz zwischen		
Max.- min. Tageswert	1,1	1,4
Mittl. Tageswert - mittl. Nachtw.	3,0	2,5
Mittl.max.Tagw.- mittl.min.Nachtw.	3,6	3,3

¹⁾ s = Streuung der Tagesmittelwerte. Die Streuung der Stundenmittelwerte betrug 1,4 (Jim) bzw. 1,1°C (Tom).

Die bei der Auswertung der Temperaturkurven beider Versuchsaffen aufgefundenen maximalen und minimalen Tageswerte sowie die Minima in der Nacht sind entsprechend ihrem zeitlichen Auftreten für Jim in Abbildung 12 und für Tom in Abbildung 13 angegeben. Daraus ist ersichtlich, daß diese Extremwerte der KT jeweils stets zu etwa den gleichen Zeiten auftraten. So lagen die Maximalwerte am Tage bei Jim zu 80 % etwa zwischen 16 und 17.30 Uhr (15.48-17.30 Uhr), bei Tom zu 90 % zwischen 14 und 15 Uhr (13.40-15.12 Uhr). Die Minimalwerte am Tage dagegen wurden bei Jim zu 90 % zwischen 7 und 8 Uhr (7.00-8.12

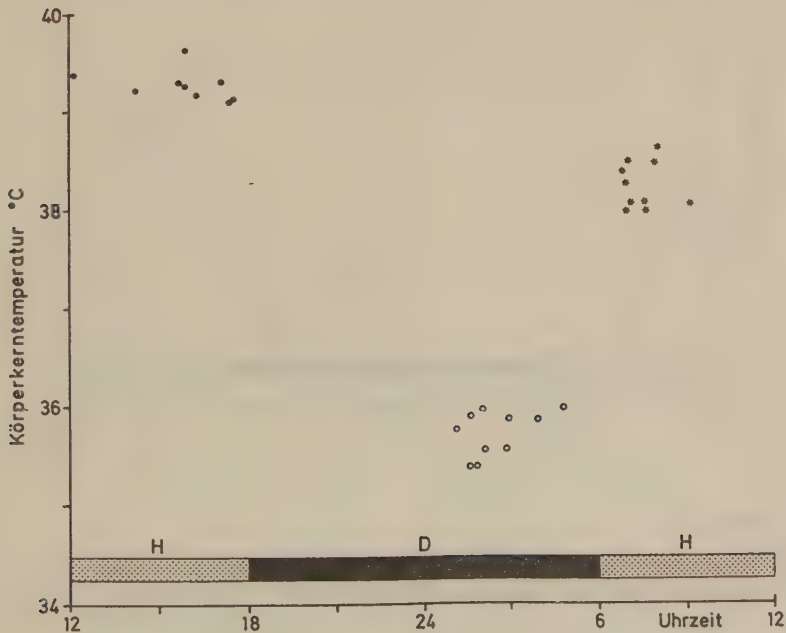


Abbildung 12:

Maximale und minimale Tageswerte sowie Nachtminima der KT des Versuchsaffen Jim

Uhr) und bei Tom ebenfalls zu 90 %, jedoch eine Stunde später, zwischen 8 und 9.30 Uhr (7.52-9.30 Uhr) registriert. Die Temperaturminima in der Nacht traten bei beiden Versuchstieren zu über 80 % im gleichen Zeitintervall, nämlich von 1-3 Uhr (1.12-3.06 Uhr) auf.

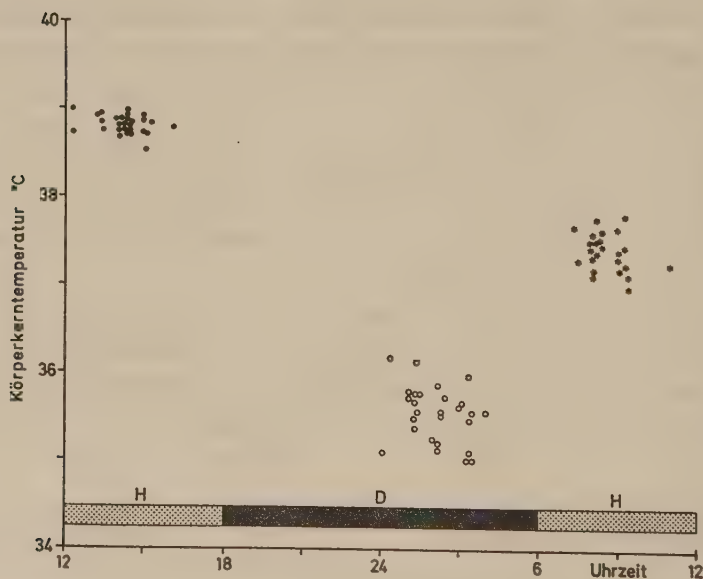


Abbildung 13:

Maximale und minimale Tageswerte sowie Nachtminima der KT des Versuchsaffen Tom

Beeinflussung der KT durch Umgebungstemperatur, Hunger und rektale Temperaturmessung (Versuchsreihe II)

Die KT von Tom wurde bei 28 °C und 30 °C Umgebungstemperatur (28 bzw. 10 Meßtage) gemessen. Die Mittelwerte der Stunden-durchschnittswerte aus beiden Meßreihen sind in Abbildung 14 einander gegenübergestellt. Wie sich zeigte, bewirkte die Erhöhung der Umgebungstemperatur um 2 °C einen Anstieg des summarischen Mittelwertes von $36,90 \pm 0,18$ auf $37,47 \pm 0,02$ °C. Der Temperaturanstieg war dabei gleichmäßig auf den ganzen 24stündigen Temperaturverlauf verteilt, d.h., die Amplitude der circadianen Rhythmik blieb unverändert.

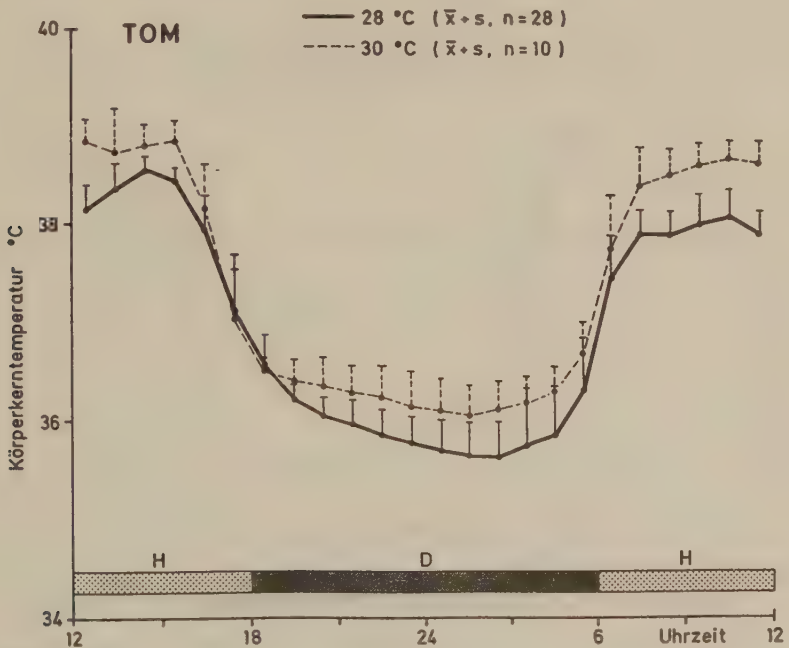


Abbildung 14:

Körperkerntemperatur des Versuchsaffen Tom bei 28°C und 30°C Umgebungstemperatur (Angabe der mittleren Stundenwerte mit Standardabweichungen)

In Abbildung 15 sind die von Jim bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen erhaltenen circadianen Temperaturkurven dargestellt:

- a. 28 °C Umgebungstemperatur und Futter ad libitum
(Versuchsreihe I),
- b. 24 °C Umgebungstemperatur und Futter ad libitum,
- c. 24 °C Umgebungstemperatur und Hunger,

Aus der Abbildung ist ersichtlich, daß sich die Absenkung der Umgebungstemperatur allein oder zusammen mit dem Futterentzug unterschiedlich auf die KT von Jim bei Tag und Nacht auswirkte. Während sich der Tagesmittelwert (6-18 Uhr) nicht veränderte (a: 38,73 °C; b: 38,72 °C; c: 38,75 °C), zeigte sich

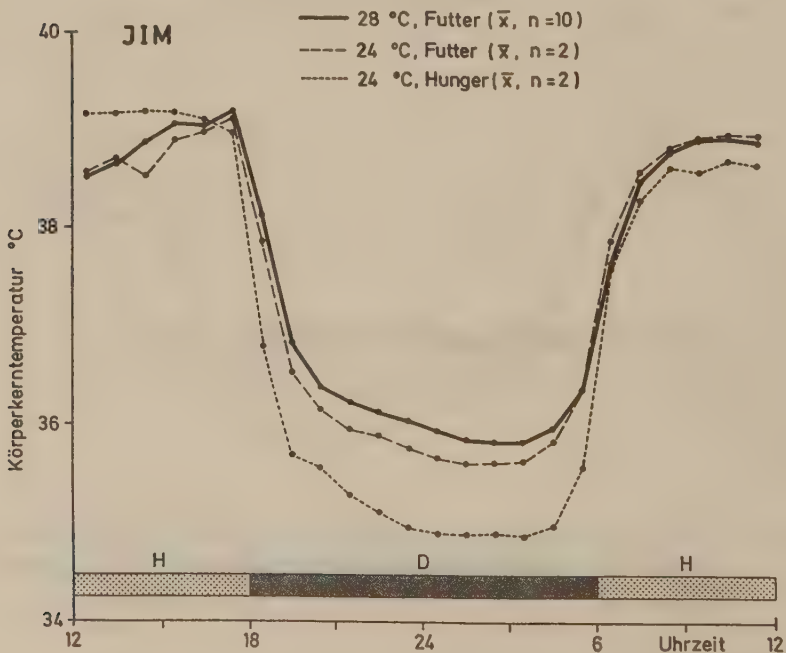


Abbildung 15:

Circadianer Verlauf der KT von Jim in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur und des Ernährungszustandes

beim Nachtmittelwert (18-6 Uhr) folgendes: Die Absenkung der Umgebungstemperatur von 28 auf 24 °C allein bewirkte einen durchschnittlichen Temperaturabfall von 36,28 auf 36,06 °C. Durch zusätzliches Hungern reduzierte sich die mittlere Nachttemperatur um weitere 0,8 °C auf 35,28 °C.

Die in Versuchsreihe II bei dem Versuchsaffen Jim durchgeführte gleichzeitige KT-Messung mit einem rektal eingeführten Digitalthermometer und dem telemetrischen System erbrachte folgendes Ergebnis: Entsprechend den telemetrisch erhaltenen Meßdaten bewirkten die zur rektalen Messung der KT notwendigen Manipulationen (Fangen, Festhalten) einen deutlichen Anstieg der KT innerhalb von etwa 4 Minuten. In 5 Wiederholungsversuchen erhöhte sich die KT von Jim um $0,4 \pm 0,1$ °C von durchschnittlich 38,9 (telemetrischer Wert) auf 39,3 °C (Thermometerwert).

Körpertemperatur und Spontanaktivität (Versuchsreihe III)

Die enge positive Relation zwischen der KT und der Bewegungsaktivität wird repräsentativ durch Abbildung 16 dargestellt. Sie zeigt einerseits, daß Callithrix-Affen bei Nacht sehr tief und ohne jegliche Bewegung schlafen, wobei ihre KT deutlich unter den Tageswert absinkt, und andererseits, daß tagsüber jede körperliche Aktivität einen Anstieg der KT zur Folge hat. Um den Zusammenhang dieser beiden Parameter zu quantifizieren, wurden lineare Regressionsgleichungen berechnet. Dazu wurden in den korrespondierenden Akto- und Thermogrammen jeweils mehrere 6-min-Meßintervalle derart zu Meßperioden zusammengefaßt, daß letztere durch Phasen relativer körperlicher Ruhe sowie durch scheinbare Temperatur-Ruhewerte abgegrenzt waren. Durch diese Einteilung der Diagramme wurden Wertepaare x,y erhalten, welche die Basis für die Berechnung

der linearen Regressionsgleichung $y = ax + b$ bildeten. Dabei ist x die durchschnittliche Bewegungshäufigkeit des Tieres und y seine durchschnittliche KT in einer Meßperiode.

Die angenommene Linearität für die Beziehung zwischen der KT und der Bewegungshäufigkeit wurde durch die Korrelationskoeffizienten bestätigt. Diese errechneten sich im Durchschnitt bei Jim zu $r = 0,903 \pm 0,09$ und bei Tom zu $r = 0,900 \pm 0,07$ ($p < 0,05$). Damit ergab sich ein mittleres Bestimmtheitsmaß B von 80% ($B = r^2 \cdot 100$) für einen linearen Zusammenhang zwischen KT und Bewegungshäufigkeit.

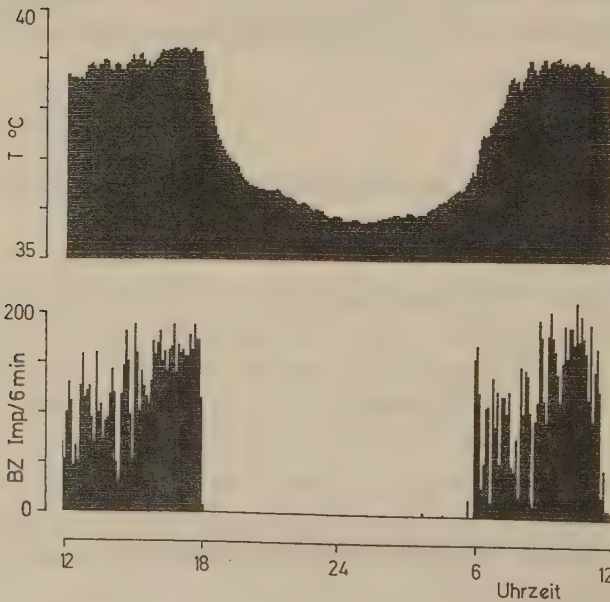


Abbildung 16:

Spontanaktivität (BZ) und Körperkerntemperatur (KT) eines Callithrix-Affen im Verlauf von 24 Stunden (Computer-Histogramme)

Die Steigung a der berechneten Regressionsgeraden ($n=21$) betrug im Durchschnitt $0,0051 \pm 0,0010$ °C pro 1 Körperbewegung in 6 min. Das heißt: Bewegte sich der Versuchsaffe in 6 Minuten z.B. 100 mal, dann erhöhte sich seine KT um 0,5 °C.

Eine direkte Messung der Ruhe-Wach-Temperatur der Versuchsaffen war aufgrund ihrer nicht ausschaltbaren Spontanaktivität nicht möglich. (Dieser Parameter ist der allein zulässige Wert für den intra- und interspezifischen Vergleich der KT von Tieren). Mit Hilfe der o.g. Regressionsgleichungen konnte jedoch die KT der Affen bei angenommener körperlicher Ruhe berechnet werden, indem in den Gleichungen $x = 0$ für körperliche Ruhe gesetzt wurde. Die so ermittelte Ruhe-Wach-Temperatur betrug am Vormittag bei Tom $37,5 \pm 0,1$ °C ($n=7$) und bei Jim $38,2 \pm 0,2$ °C ($n=7$). Bei beiden Tieren war dieser Temperaturwert am Nachmittag etwas höher, nämlich $37,8 \pm 0,2$ °C ($n=6$) bei Tom und $38,5 \pm 0,4$ °C ($n=6$) bei Jim. Die Differenz der Ruhe-Wach-Temperaturen am Vor- und Nachmittag war somit bei beiden Tieren gleich 0,3 °C.

Nach Weiterentwicklung des optisch-optoelektronischen Bewegungsmeßverfahrens für Motilitätsmessungen bei Dunkelheit konnte bei dem Versuchsaffen Jim die Frage untersucht werden, inwieweit der Verlauf der KT im Schlaf durch körperliche Aktivitäten beeinflusst wird. Aus 7 Versuchen konnte folgendes Ergebnis gemittelt werden (Abb.17): Am Abend beendete Jim seine Bewegungsaktivität um 18.03 Uhr. Sogleich fiel seine KT mit einer Geschwindigkeit von $-2,04$ °C/h bis 19.24 Uhr steil ab. Danach sank die KT mit nur $-0,25$ °C/h bedeutend langsamer ab¹, um gegen 1.36 Uhr das Nachtminimum von 35,8 °C zu errei-

¹Kriterium für die Festlegung des "Knickpunktes" der abfallenden Temperaturkurve war eine Temperaturänderung von 0,1°C pro 6-min-Meßintervall

chen. Der nun beginnende Wiederanstieg der KT verlief nahezu spiegelbildlich. Zunächst stieg die KT trotz absoluter körperlicher Ruhe mit einer Geschwindigkeit von $0,24\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ langsam wieder an, um dann mit Einsetzen der Bewegungsaktivität um 5.48 Uhr mit $2,11\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ sehr schnell innerhalb von etwa 1 h das Tagesniveau zu erreichen.

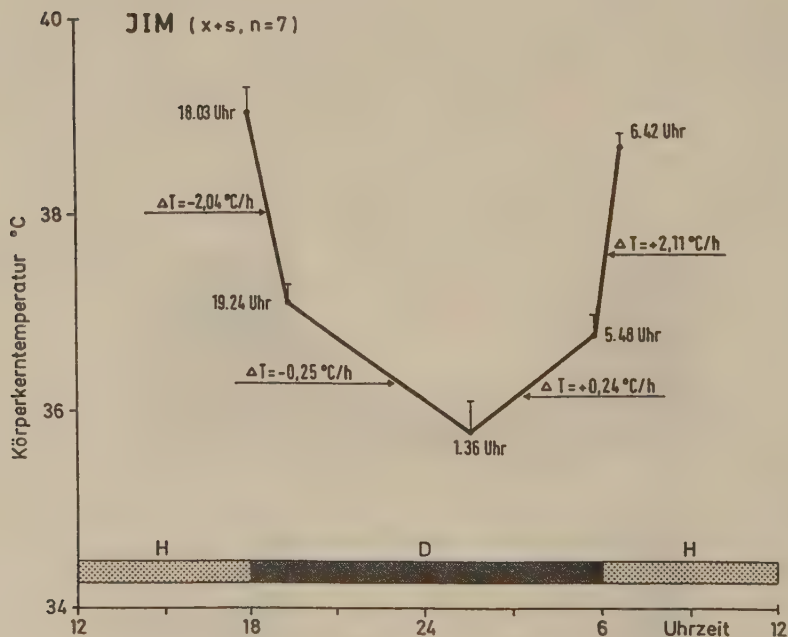


Abbildung 17:

Änderungen der Körpertemperatur des Versuchsaffen Jim in der Dunkelphase (Schlaf)

Energieumsatzrate, Körperkerntemperatur und Bewegungsaktivität (Versuchsreihe IV)

Die Ergebnisse der Respirationsversuche bestätigen eine enge positive Relation zwischen Bewegungsaktivität (Bewegungshäufigkeit BZ), Energieumsatzrate (E) und Körperkerntemperatur (KT). Wie Abbildung 18 exemplarisch zeigt, wird jede körperliche Aktivität stets begleitet von einem entsprechenden An-

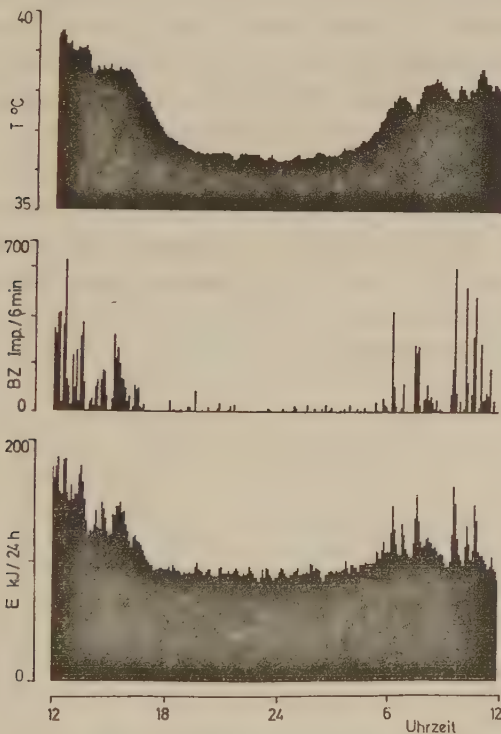


Abbildung 18:

Energieumsatzrate (E), Spontanaktivität (BZ) und Körperkerntemperatur (KT) eines Callithrix-Affen im Verlauf eines Respirationsversuches (Computer-Histogramme)

stieg der E und der KT. Zur Untersuchung des quantitativen Zusammenhanges dieser 3 Parameter wurden lineare Regressionsgleichungen für die Beziehungen $BZ : E$, $BZ : KT$ und $E : KT$ berechnet. Die dafür jeweils notwendigen Wertepaare wurden durch entsprechende Einteilung der korrespondierenden Akto-, Respiro- und Thermogramme erhalten (S.55). Für die Auswertung wurde jeder Respirationsversuch in zwei 24 h-Perioden unterteilt, um dem unterschiedlichen Sättigungszustand des betreffenden Versuchsaffen am 1.Meßtag (Hunger) und am 2.Meßtag (Futter) Rechnung zu tragen. Damit wurde einer Verzerrung der Korrespondenz zwischen BZ und KT bzw. E durch die kalorogene Wirkung des aufgenommenen Futters entgegengetreten. Zur Feststellung des Einflusses der BZ auf E und KT wurden die Wachphasen (6-18 Uhr) der Versuchstiere ausgewertet. (Nachts bewegten sich die Affen nur gelegentlich zwecks Körperpositionsänderung. Dies wurde durch gelegentliche visuelle Kontrollen festgestellt sowie durch die dann bei IR-Licht durchgeführten Bewegungsmessungen bestätigt).

Die Ergebnisse der Respirationsversuche sind in Tabelle 4 zusammengefaßt.

Tabelle 4:

Zusammenfassung der Ergebnisse der Respirationsversuche

VNr.	KM (g)	Korrelationskoeff.			Ruhe-Wach-Temperatur (°C)			RWU (kJ/kg ^{0,75} ·24h) nücht. satt
		BZ:E	BZ:KT	E:KT	korr. über BZ nücht. satt	korr. über E nücht. satt		
<u>Jim</u>								
1	283	0,96	0,59	0,70	37,66	37,67	38,25	216 268
2	292	0,90	0,69	0,83	38,07	37,97	38,54	200 255
3	295	0,86	0,65	0,81	37,88	37,88	38,41	222 264
4	297	0,95	0,58	0,68	37,70	37,67	38,41	226 238
5	293	0,87	0,65	0,87	37,89	37,97	38,02	205 262
<u>Tom</u>								
6	382	0,89	0,86	0,87	37,98	37,99	38,24	210 241
7	375	0,83	0,80	0,95	37,67	37,67	38,07	209 237
8	360	0,76	0,68	0,67	38,15	38,29	38,26	223 245

VNr. = Versuchsnummer; KM = mittlere Körpermasse; RWU = Ruhe-Wach-Umsatz;

4 DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

4.1 Bewertung des Telemetriesystems

Bei der Erstellung eines Radiotelemetriesystems zur Erfassung der Körpertemperatur von Versuchstieren muß stets ein Kompromiß gefunden werden zwischen den Leistungen des Senders bezüglich Funktionsdauer, Reichweite, Meßgenauigkeit sowie Störanfälligkeit und dem davon abhängigen Sendervolumen, das wiederum durch die Größe des jeweiligen Versuchstieres limitiert wird. Andererseits werden Reichweite, Meßgenauigkeit und Störanfälligkeit auch durch die Güte des Empfangsteiles bestimmt, so daß hierdurch auf die Qualität des gesamten Telemetriesystems verbessernd eingewirkt werden kann. Besondere Anstrengungen müssen unternommen werden, um Funktionsstörungen des Senders zu vermeiden, da sie die Messungen vorzeitig, d.h. vor Erschöpfen der Batterie, beenden können. Dies ist bei Endoradiosonden besonders fatal, zumal wenn sie wie hier wertvollen Versuchstieren implantiert und dann, evtl. ohne die geplanten Messungen durchgeführt zu haben, wieder explantiert werden müssen.

Die zur kontinuierlichen telemetrischen Registrierung der KT von Versuchstieren in der Literatur beschriebenen Meßsysteme lassen folgende Schwächen erkennen:

- Die für eine einwandfreie Funktion des Senders notwendige Konstanz der Batteriespannung kann in keinem System kontrolliert werden.
- Der Anschluß der Elektroden des Senders an die Batterie ist entweder unzuverlässig in der Haltbarkeit, nicht batterie-schonend oder nicht für den problemlosen Austausch der Batterie geeignet.

- Die verschiedenen Verfahren und Materialien zur Einkapselung des Senders bieten für längerfristige Untersuchungen keine ausreichende Gewähr gegen das Eindringen von Feuchtigkeit.
- Die logarithmische Abhängigkeit des Widerstandswertes des Thermistors von der Meßtemperatur wird nicht oder nur unzureichend berücksichtigt.
- Die Maßnahmen zur Eliminierung nicht ausschaltbarer, externer Störungen sind unzulänglich.

Bei dem hier entwickelten Telemetriesystem sind die genannten Mängel beseitigt:

4.1.1 Betriebsspannung

Zur radiotelemetrischen Temperaturerfassung muß der Meßparameter quantitativ übertragen werden. Der Übertragungswert wird dabei direkt von der Betriebsspannung im Sender beeinflusst. Nur bei absolut konstanter Betriebsspannung kann somit eine zuverlässige Meßwertübertragung erwartet werden. Bekanntlich ändert sich jedoch bei allen Batterien während des Betriebs die Spannung. Hierauf wiesen auch in Bezug auf Batterien für Biosender MACKAY (1968) und LEFCOURT et al. (1986) hin. Eine ausführliche Darstellung des Spannungsabfalles von unterschiedlichen Batterietypen findet sich bei KO (1980). Für implantierbare Biosender werden häufig Silberoxid-Knopfzellen verwendet, da sie über einen verhältnismäßig langen Zeitraum eine nahezu gleichbleibende Spannung haben. Diesen "Konstantwert" erreichen sie aber erst nach einem anfänglichen Spannungsabfall. Danach verbleibt der Spannungswert annähernd auf einem Plateau. Gegen Ende der Batterieladung fällt die Spannung erneut stark ab.

Das Ausmaß der Spannungsabhängigkeit des Meßwertes wurde hier an einem Mini-Mitter-Sender untersucht, dessen Impulsfolge proportional zur jeweiligen Meßtemperatur ist. Dazu wurde bei konstanter Sendertemperatur der jeweilige Impulsabstand bei unterschiedlicher Versorgungsspannung gemessen:

Versorgungsspannung (V)	Impulsabstand (ms)
1,550	899
1,500	914
1,456	924
1,404	934

Die Meßergebnisse zeigen, daß eine Spannungsabweichung von 0,1 V eine Veränderung des Impulsabstandes des Testsenders um 20 ms bedingt. Dies entspricht einer Impulsfrequenzänderung von 1,5/min. Damit würde bei einer Frequenzänderung von 7,4 Impulse/min pro °C des Senders durch die Abweichung der Versorgungsspannung von 0,1 V eine Änderung des Temperaturwertes von 0,2 °C vorgetäuscht.

Der Primärentladung der Senderbatterie tragen nur wenige Autoren Rechnung (BÜTTNER und PLONAIT, 1984; GALLAHER et al., 1985), indem sie ihre Temperatursender nach einem Batteriewechsel erst nach einer gewissen Vorlaufzeit eichen und zur Messung einsetzen. Dadurch verkürzt sich die Funktionsdauer des Senders entsprechend. Der Meßfehler durch den anschließenden geringen, aber durchaus meßbaren Spannungsabfall bis zum Ende des "Konstantwert"-Plateaus wird im allgemeinen in Kauf genommen. Auch gegen den nicht abschätzbaren Meßfehler, der durch das dann unkontrollierbar ablaufende Niederbrechen der Batteriespannung auftritt, werden keine Maßnahmen ergriffen. Bei den herkömmlichen Telemetriesendern ist dieser Vorgang erst durch das Aussetzen des Senders nach völliger Entladung der Batterie erkennbar.

Bei dem hier beschriebenen Sender sind diese Mängel durch einen Spannungsregler eliminiert, der sogleich nach Einsetzen der Batterie bis zum Ende des Spannungsplateaus eine von der Batteriespannung unabhängige, konstante Betriebsspannung hält. Dadurch entfällt einerseits die Vorlaufzeit, so daß der Sender nach dem Batteriewechsel sofort meßbereit ist und keine kostbare Batteriekapazität verloren geht. Andererseits gewährleistet die absolut konstante Betriebsspannung die geforderte Reproduzierbarkeit der Meßwerte während der gesamten Funktionsdauer des Senders. Beim Abfall der Batteriespannung am Ende des Spannungsplateaus kommt es durch das charakteristische Verhalten des eingesetzten Spannungsreglers zu einer plötzlichen Änderung der Betriebsspannung. Dies hat wiederum eine ausgeprägte Verschiebung der Sendefrequenz zur Folge. Damit wird die weitgehende Entladung der Batterie und das dadurch bedingte Funktionsende des Senders unmißverständlich angezeigt.

Der in den Sender eingesetzte Spannungsregler würde allerdings bei 1,5 Volt-Betrieb im Grenzbereich seiner Funktion arbeiten. Deshalb wird durch zwei in Serie geschaltete Knopfzellen eine Versorgungsspannung von etwa 3 Volt bereitgestellt, die durch zwei Widerstände auf eine Betriebsspannung von 2,2-2,4 Volt reduziert wird. Der Nachteil des größeren Sendergewichtes und -volumens, durch die Verwendung von 2 Batterien bedingt, wird durch den entscheidenden Vorteil der absolut konstanten elektrischen Spannung während der gesamten Funktionsdauer des Senders zweifelsohne wettgemacht.

Im Vergleich zu anderen Temperatursendern, deren Funktionsdauer meist ≤ 2 Monate beträgt (PLONAIT, 1974; GEORGIEV, 1978/79; BÜTTNER und WOLLNIK, 1982; GALLAHER et al., 1985), ist die des hier beschriebenen Senders mit ≈ 6 Monaten deutlich länger. Einen vergleichbaren Wert erreichte nur der von LEFCOURT et al. (1986) verwendete Mini-Mitter-Sender, dessen Volumen jedoch durch die eingesetzte Lithiumbatterie fast 10mal größer war.

4.1.2 Batterieanschluß

Der elektrische Anschluß der Batterie an den Sender ist eine nicht zu unterschätzende Fehlerquelle. Häufig werden die Elektroden der Senderplatine unter Zuhilfenahme der Senderkapsel an die Batterien angepreßt (PLONAIT, 1974; GEORGIEV, 1978/79; RENNER-GORLAS, 1985; GALLAHER et al., 1985; RUF, 1986; LEFCOURT et al., 1986). Dabei ist jedoch stets die Gefahr eines Wackelkontaktes gegeben, besonders wenn die bei Raumtemperatur angefertigte Senderkapsel sich durch die Erwärmung im Tierkörper geringfügig ausdehnt und dadurch der Anpreßdruck der Senderkapsel auf die Drähte nachläßt. Durch direktes Anlöten der Anschlußdrähte an die Batterie (MACKAY, 1968; STONG, 1968; WAHL, 1987) wird zwar eine zuverlässige Verbindung erreicht, doch kommt es dabei zu einer kurzfristigen, starken Erhitzung der Batterie, wodurch deren Elektrolyt geschädigt wird. Dadurch geht wertvolle Batteriekapazität in nicht abschätzbarem Umfang verloren. Als weitere Möglichkeit zum Anschluß der Batterie bietet sich die Verwendung von elektrisch leitendem Kleber an (WAHL, 1987). Die Haltbarkeit der Klebestellen erscheint allerdings fraglich. In eigenen Untersuchungen mit einem Silber-Leitkleber¹ erwiesen sie sich als spröde und die Anschlußdrähte lösten sich häufig sehr bald wieder ab.

Bei dem hier vorgestellten Sender sind die angeführten Mängel durch die Verwendung einer Batteriefassung beseitigt. Sie ermöglicht den problemlosen und schnellen Austausch der Batterien bei Erschöpfung und gewährleistet dennoch den stets sicheren elektrischen Kontakt zwischen Batterie und Sender-

¹ Silber-Leitkleber, Typ 6120, EPOXY produkte GmbH, Fürth/Odw.

platine. Außerdem wird durch die feste mechanische Verbindung des Senders mit der Batteriefassung die Gefahr beseitigt, daß beim Batterieanschluß oder -wechsel die Elektrodendrähte abbrechen. Die Zunahme des Sendergewichts und -volumens durch die Fassung ist gegenüber der absolut zuverlässigen Stromversorgung sicherlich in Kauf zu nehmen.

4.1.3 Einkapselung

Eine Beeinträchtigung der Senderfunktion kann sich weiterhin aus dem bis heute unzureichend gelösten Problem der Sendereinkapselung ergeben. Es versteht sich, daß eine über Monate im Tierkörper belassene Endoradiosonde zuverlässig gegen jedes Eindringen von Feuchtigkeit geschützt sein muß, da sonst sehr bald zumindest ein Driften des Senders auftritt. Ursache hierfür können u.a. Kriechströme in der Senderelektronik sein. Im schlimmsten Fall werden durch die eindringende Feuchtigkeit die Kontakte zwischen Batterie und Senderplatine unterbrochen oder die Bauteile des Senders langsam durch Korrosion zerstört. Außer der absoluten Undurchlässigkeit für Feuchtigkeit muß das zur Einkapselung des Senders verwendete Material zum Schutz des Versuchstieres biologisch völlig inert und darüber hinaus elektrisch nicht leitend sein, damit die Abstrahlung des Sendesignals nicht beeinträchtigt wird.

Gewöhnlich wird bei den in der Literatur vorgestellten Sendern die Elektronik zunächst zum Schutz gegen mechanische Beschädigung in Epoxydharz eingegossen. Der Sendeteil wird dann i.d.R. zusammen mit der Batterie in geeigneter Weise in eine Kapsel aus Polyäthylen (FRYER et al., 1966; MACKAY, 1968; PLONAIT und REINHARD, 1977), PVC (GEORGIEV, 1978/79; RENNER-GORLAS, 1985) oder Plexiglas (BÜTTNER und PLONAIT, 1984)

eingeschlossen. Da aber bekanntlich Kunststoffe keine absolut verlässliche Sperre gegenüber Feuchtigkeit garantieren, wird schließlich die Senderkapsel von mehreren Autoren (FRYER et al., 1966; KO und NEUMANN, 1967; STONG, 1968; MÜLLER et al., 1983; RENNER-GORLAS, 1985; LEFCOURT et al., 1986; RUF, 1986) vorsorglich mit Paraffin, Wachs oder einer Mischung von beiden überzogen. Diese Materialien haften allerdings ziemlich schlecht. Es besteht deshalb immer die Gefahr, daß die Schutzhülle abplatzt oder sich feinste, kaum erkennbare Risse bilden, so daß Feuchtigkeit unkontrolliert eindringen kann.

Es sei angemerkt, daß eine Einbettung des Senders in Silikon, wie dies verschiedene Autoren (RENNER-GORLAS, 1985; PLONAIT und REINHARD, 1977) praktizierten, gänzlich abzulehnen ist. Man erhält zwar dadurch eine biologisch völlig inerte Hülle, die aber in erheblichem Umfang feuchtigkeitsdurchlässig ist. Entsprechende eigene Untersuchungen mit durch Silikon eingekapselten Blaugelproben machten dies deutlich.

Der hier beschriebene Telemetriesender wurde deshalb zur Ausschaltung der angeführten Unsicherheiten in eine Kapsel aus Glas eingeschlossen. Glas verhält sich nämlich gegenüber lebendem Gewebe vollkommen neutral, ist absolut undurchlässig für Feuchtigkeit und beeinträchtigt auch nicht die Abstrahlung des Sendesignals. Entsprechende Kapseln mit dazu passenden Deckelscheiben kann jeder Glasbläser herstellen. Eine Schwachstelle ist evtl. der Verschluß der Kapsel. Doch erwies sich bisher das Aufkleben des kleinen Glasdeckels mit UHU-plus endfest 300 als vollkommen sicher.

4.1.4 Senderkennlinie

Als Temperatursensoren für Miniatur-Sender werden bekannterweise nur passive Halbleiterelemente eingesetzt, da sie hinreichend klein sind und energiesparend arbeiten. Der diesen Bauteilen eigene, nichtlineare Zusammenhang zwischen Temperatur- und Meßwertänderung muß zur Vermeidung von Meßfehlern beachtet werden. Auf dieses sicherlich bekannte Problem wird jedoch in den entsprechenden Publikationen - wohl in Ermange-

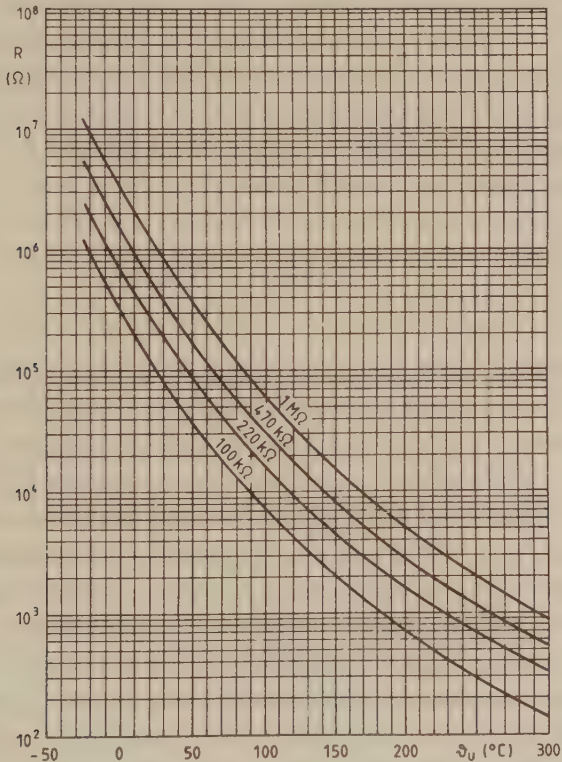


Abbildung 19:

Widerstandswert des verwendeten $1\text{M}\Omega$ -Thermistors in Abhängigkeit von der Temperatur (Datenblattsammlung Fa. VALVO)

lung einer Lösung - nur sehr selten eingegangen. CASTRO und BROWER (1977) z.B. ignorierten dieses Problem, indem sie die Kennlinie des Thermistors in dem gewählten Meßbereich als linear unterstellten. GALLAHER et al. (1985) versuchten den durch die Nichtlinearität verursachten Meßfehler durch Verwendung einer Sendereichkurve zu eliminieren.

Die nicht-lineare Abhängigkeit des Widerstandswertes von der Meßtemperatur für den hier verwendeten 1M Ω -Thermistor zeigt Abbildung 19. Die für eine korrekte Auswertung der Meßdaten notwendige Linearisierung wurde bei dem hier vorgestellten Telemetriesystem in das Rechenprogramm des Computers aufgenommen, da sie elektronisch im Sender aus Platz und Energiegründen nicht realisierbar ist und im Empfänger nur mit sehr hohem Aufwand möglich gewesen wäre.

4.1.5 Störungsbefreiung

Ein großes Problem der Biotelemetrie sind hochfrequente Störsignale. Der Grund hierfür liegt in der sehr geringen Abstrahlleistung der verwendeten Biosender (Mikrowattbereich) gegenüber den um mehrere 10^{er}-Potenzen höheren Leistungen "fremder" UKW-Sender. Störsignale treten verständlicherweise besonders in mit viel Meßtechnik ausgestatteten Laboratorien auf und können dann die dort angestellten biotelemetrischen Untersuchungen erheblich erschweren.

HF-Störsignale können die verschiedensten Ursachen haben. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen Geräten, die bestimmungsgerecht HF-Energie erzeugen (Sinusstörquellen), und solchen, die unbeabsichtigt hochfrequente Signale abgeben (Impulsstörquellen). Zur ersten Gerätegruppe gehören z. B. technische HF-Generatoren, die Hochfrequenz zur Erwärmung von

verschiedenen Materialien erzeugen, sowie medizinische Bestrahlungsgeräte (Diathermie). Als Störsignale treten zumeist nur einzelne Frequenzen (Arbeitsfrequenz) auf. Störquellen mit gleichem Charakter sind auch Rundfunk- (HF-Oszillator) und Fernsehapparate (Zeilenkippfrequenz). Bei der zweiten Gerätegruppe werden Störungen durch Schaltvorgänge in elektrischen Stromkreisen verursacht (Lichtschalter, Relais, Leuchtstoffröhren, Elektromotoren¹ u.s.w.). Hierbei entstehen Impulse, deren Hochfrequenzspektrum breitbandig, d.h. auf jeder Frequenz stören kann.

Während bei Störungen durch elektrische Geräte normalerweise Abhilfe leicht möglich ist, läßt sich ein befriedigender Störschutz gegen atmosphärische Entladungen, Amateurfunk oder ähnliches kaum erreichen. Das Problem der Entstörung wird auch dadurch erschwert, daß die Störursachen oft auch nicht zu erkennen bzw. die Störquellen nicht zu lokalisieren sind.

Hochfrequente Störungen können sich somit auf allen Frequenzbändern von LW bis UKW zeigen. Zur Telemetrie werden hauptsächlich der MW- und der UKW-Bereich genutzt, wobei bekanntlich der erste weitaus mehr gestört wird. Mit dem hier zunächst benutzten, im Handel erhältlichen MW-Sender (Mini-Mitter) konnten in unserem Labor infolge nahezu ununterbrochener Störungen durch die dort aufgestellten zahlreichen elektrischen Meßgeräte keine brauchbaren telemetrischen Temperaturaufzeichnungen durchgeführt werden. Als allgemein zuverlässige Möglichkeit zur Abschirmung störender HF-Signale wird immer wieder der sogenannte Faradaysche Käfig beschrieben. Diesbezügliche eigene Untersuchungen mit dem MW-Sender und einem handelsüblichen Radioempfänger verliefen jedoch ohne Erfolg.

als besonders störend erwiesen sich z.B. die in Labors noch häufig verwendeten älteren Magnetrührer mit Kollektormotor.

Ein weiteres Problem von MW-Sendern ist auch das häufige Auftreten von "Nullstellen". Sie entstehen durch "Entkoppelung" von Sende- und Empfangsantenne, was eine Unterbrechung der Meßwertübertragung bedeutet. Diese Situation tritt bei der biotelemetrischen Untersuchung durch die Bewegung des Versuchstieres auf, wodurch die Position der Senderantenne gegenüber der Empfangsantenne fortlaufend geändert wird. FRYER et al. (1966) berichteten, daß sie den Meßwertempfang ihres MW-Senders verbessern konnten, indem sie 2 senkrecht zueinander angeordnete, jeweils an einen eigenen Empfänger angeschlossene Empfangsantennen verwendeten und dadurch die Häufigkeit des Auftretens von Nullstellen reduzierten. Eigene Untersuchungen mit einer dreidimensionalen Stabantenne, die allerdings nur an einen Empfänger angeschlossen werden konnte, erbrachten keine Verbesserung des Signalempfanges bei dem verwendeten MW-Sender.

Diese Schwierigkeiten gaben schließlich Veranlassung, das hier beschriebene, im UKW-Bereich arbeitende Telemetriesystem zu entwickeln. Doch selbst in diesem Sendebereich traten in unserem Laboratorium immer wieder Störungen nicht klärbarer Herkunft auf. Durch die besondere Konstruktion des Empfängers konnten jedoch Fehlmessungen infolge solcher Störungen ausgeschaltet werden:

Bei den meisten Telemetriesystemen (STONG, 1968; RILEY, 1970; HAMPTON, 1973; PLONAIT, 1974; PLONAIT und REINHARD, 1977) ist der Meßwert durch die Frequenz der Sendesignale codiert (Pulsfrequenz-Modulation). Nach der Demodulation des Sendesignals wird die erhaltene Niederfrequenz in eine elektrische Spannung (Meßwert) umgewandelt. Da in dem NF-Signal alle auftretenden Störungen enthalten sind, wird der Meßwert gegebenenfalls zwangsläufig verfälscht. Um diese Fehlerquelle bei der Umwandlung von der Frequenz in die Spannung zu umgehen, wird in dem hier beschriebenen Telemetriesystem der

Meßwert zeitlich codiert, d.h., die Zeitdifferenz zwischen zwei Sendeimpulsen ist dem Meßwert proportional (Impulsintervall-Modulation). Die Störungslogik ermittelt die Lage der Sendeimpulse und kann damit externe Störsignale "erkennen und eliminieren". Erst wenn kein Sendesignal mehr über einen längeren Zeitraum empfangen wird, kann der zuletzt abgespeiste Meßwert durch externe Störsignale mit entsprechendem zeitlichen Abstand verfälscht werden. Solch extreme Bedingungen ergeben sich aber in der Praxis nur bei Abschirmung des Senders oder Überschreiten der Reichweite.

Eine vergleichbare Störungslogik wurde bereits von CASTRO und BROWER (1977) beschrieben. Sie war jedoch in das die Meßdaten erfassende Computerprogramm integriert und nicht wie hier im Empfänger.

4.2 Körperkerntemperatur von Weißbüscheläffchen

4.2.1 Thermoregulation

Die Frage nach der KT von Weißbüscheläffchen läßt sich nicht durch einen einzigen numerischen Wert beantworten. Die KT der Affen ist nämlich keine konstante, sondern eine unter dem Einfluß von zahlreichen Faktoren stehende, variable Größe. Aussagekräftig ist deshalb allein die physiologische Varianz der KT. Dabei ist zu beachten, daß die KT der Affen selbst unter konstanten Versuchsbedingungen erheblich schwankt (vgl. Ergebnisse der Versuchsreihe I). Eine Erweiterung der Schwankungsbreite ergibt sich durch Reizwirkungen bei Veränderung der Versuchsbedingungen (vgl. Ergebnisse der Versuchsreihe II).

Wegen der hohen Sensibilität der Weißbüscheläffchen spielen auch oft scheinbar nur unbedeutende Veränderungen in der Umgebung der Tiere eine große Rolle. Bereits ein neuer Tierkäfig, der Wechsel des Tierpflegers oder die Abwandlung des Beleuchtungsprogrammes können sich durch eine Veränderung der KT bemerkbar machen. Vergleichbare und reproduzierbare KT-Werte lassen sich deshalb bei diesen Tieren nur nach langer Eingewöhnung und bei absolut konstanten Versuchsbedingungen erzielen.

Die hier vorliegenden Untersuchungen zur Feststellung der KT von Callithrix-Affen (Versuchsreihe I) wurden gleichbleibend bei einer Umgebungstemperatur (UT) von 28 °C und einer relativen Luftfeuchte von 60% durchgeführt. Diese Bedingungen entsprechen weitgehend dem Klima im tropischen Regenwald von Brasilien, der natürlichen Heimat von Callithrix-Affen. Die Festlegung der UT auf 28 °C erfolgte aber auch auf Grund von Ergebnissen aus Energieumsatzmessungen an Callithrix-Affen, die zwischen 24 - 32 °C UT durchgeführt wurden (PETRY, 1986).

Dabei wurde festgestellt, daß 28 °C der metabolisch neutralen UT von Callithrix-Affen entspricht. (Eine Absenkung der UT von 28 auf 24 °C sowie eine Erhöhung der UT von 28 auf 32 °C führten zu einer Zunahme der Energieumsatzrate um 32 bzw. 8%).

Die Ergebnisse der Versuchsreihe II zeigen sehr eindrucksvoll, daß sich bereits geringe Veränderungen der UT auf die KT von Callithrix-Affen auswirken. So erhöhte sich die KT des Versuchsaffen Tom bei Veränderung der UT von 28 auf 30 °C gleichermaßen über den ganzen Tag verteilt um etwa 0,6 °C. Bei einer Absenkung der UT von 28 auf 24 °C blieb dagegen die KT des Versuchsaffen Jim tagsüber gleich und fiel nachts um nur 0,2 °C ab. Dies bedeutet, daß die Affen eine Erhöhung der UT schlechter durch ihre Thermoregulation ausgleichen können als eine UT-Erniedrigung. Für letztere scheint zudem ihre Fähigkeit zur Thermoregulation bei Tag und bei Nacht verschieden zu sein. Während sie bei Tag eine niedrigere UT durch zusätzliche körperliche Aktivität gut kompensieren können, ist dies bei Nacht anscheinend nicht mehr voll gewährleistet (Körperruhe im Schlaf). Diese Schwäche tritt deutlich in Erscheinung, wenn die Affen zusätzlich hungern. Bei dem Versuchsaffen Jim ergab sich dadurch eine nochmalige Absenkung der KT um 0,8 °C.

Die hier aufgezeigte, eingeschränkte Fähigkeit der Callithrix-Affen zur Thermoregulation wurde auch von MORRISON und SIMOES (1962/63) sowie von MORRISON und MIDDLETON (1967) beobachtet. Die Autoren erklärten diese Thermolabilität durch einen erhöhten Wärmeverlust auf Grund des relativ schütterten Haarkleides der Affen sowie durch eine vergrößerte Körperoberfläche wegen ihrer relativ langen Extremitäten. Dieser Umstand ist sicherlich im natürlichen Biotop der Tiere mit der dort herrschenden hohen und gleichmäßigen UT und Luftfeuchtigkeit nicht von Nachteil. Man muß darin eher eine

Notwendigkeit zu einer ungestörten Abgabe überschüssiger Wärme zwecks Aufrechterhaltung einer konstanten KT sehen. Auf Grund der in ihrem Biotop stets gleichbleibenden klimatischen Bedingungen besitzen die Affen aber anscheinend nur geringe Fähigkeit zur Adaption an Veränderungen der UT. Man kann deshalb auch von Callithrix-Versuchsaffen, die erst seit etwa 20 Jahren in unseren Breiten gezüchtet werden, keine ausreichende Fähigkeit zur Anpassung ihrer Thermoregulation an größere Veränderungen der UT erwarten.

4.2.2 Methodisch bedingte Verfälschung der KT-Werte

Die KT von Weißbüscheläffchen liegt, wie die von anderen Tierarten auch, in einem typischen, artspezifischen Temperaturbereich. Differieren die von verschiedenen Autoren angegebenen KT-Werte, so ist dieser Sachverhalt sicherlich nicht in der Natur der Weißbüscheläffchen begründet. Vielmehr erklären sich die Abweichungen der Versuchsergebnisse vor dem hier geschilderten Hintergrund durch die unterschiedlichen Versuchsbedingungen. Dabei spielt neben den unterschiedlichen Haltungsbedingungen die Methodik der KT-Messung eine besondere Rolle. Die bisher durchgeführten KT-Messungen an Callithrix-Affen erfolgten ausnahmslos mit rektal eingeführtem Hg- bzw. elektronischem Thermometer; mit Hilfe der Radiotelemetrie bestimmte KT-Werte liegen bisher nicht vor. Die Auswirkung einer rektalen Temperaturmessung auf die KT der Tiere wurde in Versuchsreihe II durch die simultane telemetrische Messung nachgewiesen. Wie bereits erwähnt, verursachte das zur rektalen Temperaturmessung notwendige Handling einen Anstieg der KT um durchschnittlich $0,4^{\circ}\text{C}$, der sich durch die erhöhte körperliche Aktivität des Versuchstieres beim Einfangen und durch den Stress beim Festhalten während der Messung erklärt.

Auch MORRISON und MIDDLETON (1967) berichteten, daß sich das von ihnen untersuchte Zwergseidenaffenpaar gegen die rektale Temperaturmessung heftig wehrte. Der dadurch verursachte Anstieg ihrer KT wurde von den Autoren empirisch auf $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ geschätzt. Die nach 2-4 min erhaltenen Temperaturmeßwerte wurden dann zur Korrektur auf den Zeitpunkt des Meßbeginns extrapoliert. Bemerkenswert ist, daß der Temperaturwert des an zweiter Stelle gemessenen Tieres stets höher war als der des zuerst gemessenen Tieres. Durch diesen Befund kommt die hohe Sensibilität von Krallenaffen besonders zum Ausdruck: Bei paarweiser Haltung erhöht sich die KT des einen Paarlings infolge Aufregung bereits, wenn der andere Paarling zur KT-Messung aus dem gemeinsamen Käfig herausgefangen wird. Die genannten Autoren korrigierten die KT des zweiten Tieres nochmals durch den Abzug von $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Die Berichtigung des rektal gemessenen Temperaturwertes durch Abzug eines bestimmten Betrages, wie sie von MORRISON und MIDDLETON (1967) durchgeführt wurde, ist sicherlich mehr als fraglich. Die methodisch bedingte Verfälschung des Meßergebnisses ist nämlich auch davon abhängig, inwieweit das jeweilige Versuchstier an den Vorgang der rektalen Temperaturmessung und die sie durchführende Person gewöhnt ist. Auch spielt die Versuchstierart selbst eine Rolle, denn bekanntlich reagieren die verschiedenen Arten unterschiedlich nervös auf experimentelle Manipulationen.

4.2.3 Vergleichende Bewertung der Körpertemperaturwerte

Ein sinnvoller Vergleich der hier gemessenen KT-Werte mit den in der Literatur für *Callithrix jacchus* und andere Affenarten angegebenen Daten ist nur unter Beachtung der vorstehenden Ausführungen möglich.

Der hier bei 28 °C (metabolisch neutrale Umgebungstemperatur für *Callithrix*-Affen) gemessene KT-Höchstwert betrug bei Jim 39,6 °C und bei Tom 39,0 °C. Diese beiden Werte sind deutlich niedriger als das von MORRISON und SIMOES (1962/63) ebenfalls bei Weißbüscheläffchen ermittelte Temperaturmaximum von 40,4 °C bzw. das von MORRISON und MIDDLETON (1967) bei Zwergseidenäffchen - ebenfalls zur Gattung *Callithrix* gehörend - gemessene Maximum von 40,5 °C. Diese Temperaturmaxima wurden bei gleicher bzw. sogar bei um 5 °C niedrigerer Umgebungstemperatur registriert. Die um 1,0-1,5 °C überhöhten Werte erklären sich durch die von den genannten Autoren praktizierte rektale Temperaturmessung.

Die bisher bei Weißbüscheläffchen durchgeführten Temperaturmessungen gaben eine außergewöhnlich große Differenz zwischen dem mittleren Tagesmaximum und dem mittleren Nachtminimum zu erkennen. In den hier durchgeführten Untersuchungen betrug die Amplitude der circadianen Schwankung durchschnittlich 3,5 °C. Sie stimmt mit den von anderen Autoren bei *Callithrix jacchus* gemessenen Amplituden von 3,0 °C (HETHERINGTON, 1978) bzw. 3,6 °C (MORRISON und SIMOES, 1962/63) überein. Vergleichbare Temperaturschwankungen von 3,6 bzw. 4,0 °C zeigten auch die ebenfalls zur Familie der Krallenaffen gehörenden *Cebuella pygmaea* (MORRISON und MIDDLETON, 1967) und *Saguinus oedipus* (HAMPTON, 1973). Ein weiteres Ergebnis liegt für die auch den Neuweltaffen angehörenden Weißstirnkapuziner-Affen vor. WINGET et al. (1968) registrierten für diese Tiere eine Amplitude von 3,0 °C.

Die große Schwankungsbreite der KT ist somit kein spezifisches Charakteristikum für Weißbüscheläffchen, denn wie aufgezeigt beträgt sie bei allen bisher untersuchten Neuweltaffen zwischen 3 - 4 °C. Durch KT-Messungen an weiteren Neuweltaffenarten wäre abzuklären, ob sich dieses KT-Verhalten

für diese Tiere verallgemeinern läßt.. Damit würden sich die Neuweltaffen hinsichtlich der Schwankungsbreite ihrer KT deutlich von den Altweltaffen unterscheiden, da deren Temperaturamplitude weitaus niedriger angegeben wird. So wurden für Schimpansen (MORRISON, 1962), Paviane (MORRISHIMA und GALE, 1972) sowie Guerezas (MÜLLER et al., 1983) eine Schwankungsbreite von 1,5 °C und für Diademmeerkatzen (MÜLLER et al., 1983) eine solche von nur 1,0 °C gemessen. Mit 2,0 °C ist die Angabe von PICCOLIE et al. (1982) für Paviane geringfügig höher. Inwieweit hier ein Unterschied in der Fähigkeit zur Thermoregulation zwischen Alt- und Neuweltaffen besteht, muß wegen des zu geringen Datenmaterials vorerst noch offen bleiben.

Verständlicherweise hat die Methodik der Temperaturmessung auf die Amplitude der circadianen Temperaturschwankung selbst keinen entscheidenden Einfluß. Sie bewirkt eine nur weitgehend "parallele" Verschiebung der Schwankungsbreite. Betrachtet man dagegen die Grenzwerte der von Callithrix-Affen mit unterschiedlicher Methodik registrierten Temperaturschwankungen, wird deren Auswirkung erkennbar. So war die von MORRISON und SIMOES (1962/63) gemessene durchschnittliche Tagestemperatur von 39,1 °C und die durchschnittliche Nachttemperatur von 36,2 °C methodisch bedingt (rektale Temperaturmessung) auch 0,5 °C höher als die entsprechenden hier gemessenen Werte. Die sich aus den genannten Meßwerten ergebende Temperaturschwankung von 2,9 °C stimmt dagegen gut mit den hier ermittelten Temperaturamplituden überein.

Die von MORRISON und MIDDLETON (1967) registrierten Minimalwerte bei Nacht (34,3 °C) sind in Anbetracht der von ihnen praktizierten Thermometermessungen im Rektum auffallend niedrig. Sie werden jedoch verständlich, wenn man zum einen die niedere Umgebungstemperatur (22 - 24 °C) und zum anderen

die von den Autoren durchgeführte Temperaturkorrektur (S.77) berücksichtigt.

Die Zuverlässigkeit einer circadianen Temperaturkurve ist entscheidend von der Frequenz der KT-Messung abhängig. Optimal ist aus naheliegenden Gründen eine kontinuierliche Temperaturentwurfzeichnung, weil dann die Kurve sozusagen lückenlos aus Momentanwerten zusammengesetzt ist. Gewisse Unterschiede der hier ermittelten KT-Verlaufskurve gegenüber denjenigen anderer Autoren erklären sich somit durch die verschiedene Anzahl der Meßwerte, die zur Erstellung der Kurven zur Verfügung standen.

Die hier erhaltene Verlaufskurve zeigt zunächst eine nahezu "rechteckige" Wellenform: Die Tag- und Nachttemperatur verbleibt auf unterschiedlichen Plateaus; der dazwischenliegende Temperaturabfall bzw. -anstieg verläuft steil. Abweichend davon beschreibt HETHERINGTON (1978) ein sägezahnartiges Muster. Diese Form ergibt sich jedoch zwangsläufig aufgrund der von HETHERINGTON benutzten, nur sehr geringen Anzahl (n=5) von Meßwerten pro Tag und ist somit ein methodisches Artefakt. Auch seine Feststellung, daß der nächtliche Temperaturabfall weitaus schneller erfolge als der Temperaturanstieg, bestätigte sich hier nicht.

Betrachtet man nun gesondert den Temperaturverlauf im Wachzustand, wird ein weiterer, sich ebenfalls aus der niedrigeren Meßwertdichte erklärender Unterschied deutlich. Die hier registrierte KT-Kurve zeigte am Tag einen zweigipfligen Verlauf mit einem Tiefpunkt um die Mittagszeit, so wie dies bereits auch schon von MORRISON und SIMOES (1962/63) festgestellt wurde. Dieser Sachverhalt entging dagegen HETHERINGTON aus oben erwähntem Grund.

Der hier festgestellte Bigenismus der KT-Verlaufskurve entspricht dem Bewegungsverhalten der Weißbüscheläffchen, das

MAIER et al. (1982) für Tiere in freier Wildbahn sowie ERKERT et al. (1986) und PETRY et al. (1987) für Tiere in Gefangenschaft übereinstimmend wie folgt beschrieben haben: Die Affen werden mit Sonnenaufgang bzw. Beginn der Beleuchtungsphase körperlich aktiv. Um die Mittagszeit (12-14 Uhr) ist ihre Bewegungsaktivität reduziert. Vor Einbruch der Dunkelheit bzw. Ende der Beleuchtungsphase suchen die Tiere ihren Schlafplatz auf. Dieses Aktivitätsverhalten, welches mit einer vermehrten Futteraufnahme am Morgen und am späten Nachmittag einhergeht, hat sich auch in den hier vorliegenden Untersuchungen voll bestätigt.

Hinsichtlich der Frage, ob sich die KT von Callithrix-Affen individuell unterscheidet, weicht das hier erzielte Ergebnis von den in der Literatur beschriebenen Resultaten ab. MORRISON und SIMOES (1962/63) sowie HETHERINGTON (1978) stellten bei ihren 4 bzw. 8 Versuchstieren keine individuellen Abweichungen fest. Im Gegensatz dazu zeigten hier die Versuchsaffen Tom und Jim sowohl im Temperaturverlauf als auch in der Höhe der KT Unterschiede. So setzte der Temperaturabfall am Abend bei Jim stets ungefähr 1 Stunde später ein als bei Tom. Hier kommt ein individuelles Merkmal von Jim im Bewegungsverhalten zum Ausdruck. Während sich Tom (und alle anderen Versuchsaffen) jeden Abend um 17 Uhr, d.h. also 1 Stunde vor Verlöschen der Raumbelichtung, in seine Schlafkoje zurückzog und dann kaum noch Bewegungsaktivität zeigte, verblieb Jim stets bis kurz vor Verlöschen des Lichtes körperlich aktiv. Damit fiel auch Jims KT wegen des Einflusses der Bewegungsaktivität am Abend stets später ab als die KT von Tom.

Die bei Jim festgestellte etwas höhere KT läßt sich durch seine vergleichsweise höhere Bewegungsaktivität erklären. Obwohl er um 4 Jahre älter ist als Tom, war er temperamentvoller als jener, d.h. er bewegte sich täglich deutlich öfter und hatte sicherlich dadurch auch das niedrigere Körperge-

wicht (Tab.3). Wie Abbildung 16 zeigt, erhöht sich die KT eines Tieres bei jeder körperlichen Aktivität. Bei Jim lag deshalb infolge seiner höheren Bewegungsaktivität das Niveau seiner KT am Tage etwas höher als bei Tom. Beim schlafenden Tier entfällt diese Einflußgröße; beide Affen hatten deshalb nachts nahezu dieselben Temperaturwerte $T = 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Hierdurch reduzierte sich wiederum die Abweichung der summarischen Mittelwerte für beide Tiere $= 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) gegenüber den Abweichungen der jeweiligen Tageswerte $= 0,5-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$).

4.2.4 Körperkerntemperatur und Bewegungsaktivität

Die Beeinflussung der KT durch die Bewegungsaktivität wurde bisher hauptsächlich bei Ratten untersucht (S.7). Die von den einzelnen Autoren mittels Regressionsanalyse erzielten Ergebnisse waren sehr unterschiedlich, was zum einen auf unzulängliche Methoden der Meßwertaufzeichnung und zum anderen aber auch auf die unterschiedliche Aufbereitung der Meßwerte zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten zurückzuführen ist. Als Basis für die Berechnung dienten nämlich stets die korrespondierenden Durchschnittswerte von KT und Bewegungsaktivität in zeitlich konstanten Meßintervallen. Je nach Festlegung der Meßintervalldauer ergaben sich verschiedene Werte für die Korrelationskoeffizienten. Dies ist darin begründet, daß jede Körperbewegung des Versuchstieres durch einen elektrischer Meßwert sofort registriert wird, wogegen jede Änderung der KT wegen der thermischen Trägheit des Senders nur mit entsprechender zeitlicher Verzögerung erfaßt wird. Damit kann es an der Grenze zweier Meßintervalle zu einer falschen Zuordnung zwischen Bewegungsaktivität und der korrespondierenden KT-Erhöhung kommen. Diese Möglichkeit tritt umso häufiger auf, je kürzer die Meßintervalle gewählt werden, weil man vermehrt Wertepaare erhält, deren Parameter sich quantitativ nicht entsprechen.

In den hier vorliegenden Untersuchungen wurden die korrespondierenden Akto- und Thermogramme in Meßperioden mit jeweils unterschiedlicher Zeitdauer unterteilt. Dazu wurden unter Berücksichtigung der Bewegungsaktivität des Versuchstieres jeweils unterschiedlich viele 6-min-Meßintervalle derart zusammengefaßt, daß die Abgrenzung der einzelnen Meßperioden stets durch relative Ruhephasen des Tieres erfolgte. Durch diese variable Einteilung entspricht die jeweils in einer Meßperiode registrierte Erhöhung der KT tatsächlich der Bewegungsaktivität, die sie ausgelöst hat. Bei einer starren Einteilung der Akto- und Thermogramme in gleiche Meßperioden bleiben dagegen Aktivitäts- und Ruhephasen des Versuchstieres unberücksichtigt. Unterschiede der Bewegungsaktivität sowie der KT-Erhöhung werden deshalb häufig ausgeglichen, so daß die quantitative Beziehung zwischen beiden Parametern verzerrt wird. Die Güte des hier gewählten Auswerteverfahrens zeigt sich in den erhaltenen Korrelationskoeffizienten von $r > 0,9$. Eine weitere Verbesserung muß jedoch noch durch zusätzliche Berücksichtigung der senderspezifischen Einstellzeit im Rechenprogramm des Computers angestrebt werden.

Bei den hier durchgeführten Untersuchungen wurde durch Einhaltung gleicher Umgebungsbedingungen der Einfluß von exogenen Faktoren auf die KT der Versuchsaffen konstant gehalten. Nicht ausschaltbar war dagegen als Einflußgröße die Spontanaktivität der Tiere. Mit Hilfe der Simultanmessung von KT und Bewegungsaktivität konnte jedoch differenziert werden, inwieweit die circadianen Schwankungen der KT durch Änderungen der Wärmeproduktion infolge körperlicher Aktivitäten oder durch Veränderungen des KT-Sollwertes verursacht wurden. Es zeigte sich, daß die Bewegungsaktivität einen vergleichsweise geringeren Einfluß auf die täglichen KT-Schwankungen hatte. So stieg am Tag die KT bei Jim aufgrund körperlicher Aktivität um maximal $0,95^{\circ}\text{C}$ und bei Tom um maximal $1,15^{\circ}\text{C}$ über den

Ruhe-Wach-Wert an (Jim: 38,35 °C; Tom: 37,65 °C). Die endogen bedingte Differenz zwischen der Ruhe-Wach-Temperatur und der Minimaltemperatur bei Nacht betrug dagegen das 2-3fache, nämlich bei Jim 2,65 °C und bei Tom 2,15 °C¹.

Auch die Tatsache, daß die mittlere KT der Versuchsaffen am Nachmittag stets höher war als am Vormittag, erklärt sich aus der endogenen Temperaturrehythmik. Der tageszeitliche Vergleich des Bewegungsverhaltens erbrachte nämlich, daß sich die Affen nachmittags weniger bewegten als vormittags. Bei Jim lag die Anzahl der Bewegungen am Nachmittag 5% unter dem Vormittagswert, bei Tom waren es sogar 8%. Der Temperaturanstieg am Nachmittag fand also entgegen einer Abnahme der Bewegungsaktivität statt.

Bezüglich des KT-Anstiegs in der Aufwachphase am Morgen war eine deutliche Zweiteilung festzustellen: Der erste langsam verlaufende Anstieg der KT erstreckte sich vom Nachtminimum bis zum Einsetzen der Bewegungsaktivität beim Wiedereinschalten der Raumbeleuchtung und erfolgte bei vollkommener körperlicher Ruhe. Er war also endogen bedingt. Die Ergebnisse der

¹Hierzu ist folgendes anzumerken: Eigentlich wäre zu erwarten, daß bei Jim wegen seiner vergleichsweise stets höheren Bewegungsaktivität die motorisch bedingte Temperaturerhöhung gegenüber dem Ruhewert größer ist als bei Tom. Hier scheint sich jedoch eine Schwäche des eingesetzten Bewegungsmeßverfahrens bemerkbar zu machen. Wie beschrieben, wurde die Bewegungsaktivität durch Zählen der Körperbewegungen der Versuchstiere unabhängig von Größe und Intensität ermittelt. Durch diese Registrierung der Bewegungshäufigkeit wurde anscheinend das unterschiedliche Bewegungsverhalten der beiden Versuchsaffen nicht hinreichend quantifiziert, was sich auf die Berechnung der Ruhe-Wach-Temperatur auswirkte. In weiteren Untersuchungen wird deshalb ein neuentwickeltes Verfahren (Videometrie) zur quantitativen Bewegungsmessung zum Einsatz kommen (PETRY, 1988 b).

Respirationsversuche machten ersichtlich, daß sich hierbei die Energieumsatzrate der Affen und ihre KT proportional erhöhten. Die vermehrt umgesetzte Energie wurde somit ausschließlich zur Anhebung der KT aufgewendet. Man kann deshalb diesen ersten Anstieg der KT als eine endogen induzierte Anheizphase bezeichnen.

In der sich daran anschließenden zweiten Phase steigt die KT dann innerhalb einer Stunde unter dem Einfluß der Bewegungsaktivität nahezu sprunghaft auf das Tagesniveau an. Hier liegt also vor allem eine motorisch bedingte Anhebung der KT vor.

In der Einschlafphase am Abend erfolgte der KT-Abfall ebenfalls zweiphasig, und zwar spiegelbildlich zum Anstieg der KT am Morgen. Sogleich nach dem Ausschalten der Raumbelichtung fällt die KT innerhalb von 50 min zunächst durch das Einstellen der körperlichen Aktivität stark ab. Daran anschließend sinkt sie nunmehr der endogenen Rhythmik des Stoffwechsels folgend allmählich auf das Nachtminimum ab.

4.2.5 KT, Bewegungsaktivität und Energieumsatzrate

Wie Tabelle 4 mit den Korrelationskoeffizienten für die Relationen zwischen Bewegungsaktivität (BZ), Energieumsatzrate (E) und KT zeigt, errechneten sich bei beiden Versuchsaffen die jeweils höchsten r -Werte für die Beziehung BZ : E. Sie lagen bei $\bar{r} = 0,88 \pm 0,06$ und waren in allen Fällen mit mindestens $p < 0,05$ statistisch gesichert. Die niedrigsten Korrelationskoeffizienten ergaben sich dagegen für die Beziehung BZ : KT. Diese lagen bei $\bar{r} = 0,69 \pm 0,09$ mit mindestens $p < 0,05$ für

75% der r-Werte¹. Eine Zwischenstellung mit $\bar{r} = 0,80 \pm 0,10$ nahm die Beziehung E : KT ein (mindestens $p < 0,05$ für 88% der r-Werte).

Der statistisch qualitative Unterschied in den Beziehungen der drei Parameter zueinander ist methodisch bedingt und erklärt sich wie folgt: Die Bewegungsaktivität des Versuchstieres wurde als Meßwert sofort, die Energieumsatzrate (pneumatische Totzeit, S.39) und die KT (thermische Trägheit des Senders, S.42) dagegen mehr oder weniger verzögert registriert. Während die zeitliche Diskrepanz zwischen BZ- und E-Registrierung in dem Rechenprogramm des Computers bereits berücksichtigt und somit einer meßtechnisch erzeugten Verzerrung der Korrespondenz der beiden Parameter rechnerisch entgegengewirkt wurde, steht diese Korrektur für die KT-Registrierung noch aus. Aufgrund dieses Umstandes ergaben sich für die Beziehung BZ : KT vergleichsweise niedrige r-Werte. Da aber andererseits die KT ebenso wie die E verzögert registriert wurde, verminderte sich die zeitliche Diskrepanz der Aufzeichnungen dieser beiden Parameter, so daß die diesbezüglichen r-Werte verbessert wurden.

Der quantitative Zusammenhang zwischen den 3 Parametern KT, BZ und E wird auch durch die in der Tabelle 4 angegebenen Ruhe-Wach-Temperaturwerte offenbar. Diese wurden nach zwei verschiedenen Methoden indirekt ermittelt:

¹Die für die Beziehung BZ : KT ermittelten Korrelationskoeffizienten waren somit im Respiationsversuch um 20% niedriger als bei den Versuchen im Tierstall (S.56). Dies erklärt sich dadurch, daß die Versuchsaafften des öfteren in dem relativ engen Respiationsgefäß weniger deutlich getrennte Aktivitäts- und Ruhephasen aufzeigten und somit eine geringere Anzahl von Wertepaaren BZ,KT für die statistische Auswertung zur Verfügung standen.

1. In der aus den Meßdaten für die Beziehung $BZ : KT$ errechneten Regressionsgleichung wurde die $BZ = 0$ (körperliche Ruhe) gesetzt (S.57).
2. Über die Regressionsgleichung für die Beziehung $BZ : E$ wurde mit $BZ = 0$ der energetische Ruheumsatz berechnet. Dieser wurde dann in die Regressionsgleichung für die Beziehung $E : KT$ eingesetzt.

Wie Tabelle 4 zeigt, sind die nach beiden Methoden ermittelten Ruhe-Wach-Temperaturwerte der beiden Versuchsaffen für den nüchternen sowie für satten Zustand jeweils fast identisch. Diese Übereinstimmung bestätigt die der Auswertung vorangegangene Annahme, daß der quantitative Zusammenhang zwischen den drei hier diskutierten Parametern BZ , KT und E durch lineare Regressionsgleichungen hinreichend dargestellt werden kann. Weiterhin ist festzustellen, daß die für den satten Zustand der Tiere errechneten Ruhe-Temperaturwerte i.d.R. um einige Zehntelgrad höher sind als die für den nüchternen Zustand. Diese Differenz erklärt sich durch die kalorogene Wirkung des aufgenommenen Futters. Dieser Effekt wird auch durch die Gegenüberstellung der energetischen Ruhe-Wach-Umsatzraten der beiden Versuchsaffen im nüchternen und im satten Zustand belegt (Tab.4), wovon die letzteren sichtbar höher sind als die ersteren. Dieser Unterschied wirkt sich entsprechend auf die KT der Tiere aus, die als Resultante aus Wärmeproduktion und Wärmeabgabe ein Indikator für das thermische Geschehen im Organismus ist.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die radiotelemetrische Meßwertregistrierung ist die Methode der Wahl zur zuverlässigen Bestimmung des effektiven "Normalwertes" eines physiologischen Parameters, denn nur sie erlaubt die Messung am völlig ungestörten Versuchstier. Besondere Bedeutung hat die Radiotelemetrie für Meßgrößen mit circadianer Rhythmik, die nur durch eine kontinuierliche Messung unverfälscht erfaßt werden kann.

Die Durchführung telemetrischer Untersuchungen konnte sich bis heute wegen des komplexen methodischen Aufwandes noch nicht allgemein durchsetzen. Die ständige Weiterentwicklung der Mikroelektronik wird jedoch die Anwendung zunehmend erleichtern. Für den hier vorgestellten Temperatursender ist in Zusammenarbeit mit elektrotechnischen Laboratorien eine Miniaturisierung durch Verwendung moderner Elektronik anzustreben.

Mit Hilfe des beschriebenen Telemetriesystems konnte dank der langen Funktionsfähigkeit des Temperatursenders die Körpertemperatur der beiden Callithrix-Affen über einen Zeitraum von 6 Monaten fortlaufend registriert werden. Trotz der geringen Anzahl von Versuchstieren konnten auf Grund der zuverlässigen Methodik reproduzierbare Ergebnisse über Höhe und circadiane Rhythmik der Körpertemperatur dieser Krallenaffenart erzielt werden. Dies war sehr wichtig, da Callithrix-Affen wertvolle Versuchstiere sind und eine Implantation des Senders in die Bauchhöhle nicht ohne Risiko für das Versuchstier ist.

Es zeigte sich, daß sich bereits geringe Veränderungen der Umgebungstemperatur auf die Körpertemperatur der Weißbüscheläffchen auswirkten. Der anscheinend begrenzten Fähigkeit zur Thermoregulation muß bei der Haltung dieser Tiere durch mög-

lichst entsprechend hohe und konstante Raumtemperaturen Rechnung getragen werden. Für ad libitum gefütterte Tiere ist eine Umgebungstemperatur von 26-28 °C zu empfehlen.

Die sensible Reaktion von Weißbüscheläffchen auf Veränderungen der Umgebung äußert sich in einem gut meßbaren Anstieg der Körpertemperatur. Damit ist es möglich, über diese Meßgröße den Einfluß verschiedener exogener Faktoren, wie z.B. Haltungsbedingungen und Handling, auf diese Tierart zu studieren.

Ob der von einem Callithrix-Affen gemessene Körpertemperaturwert physiologisch ist oder bereits Fieber anzeigt, kann nur unter Berücksichtigung der zur Temperaturmessung verwendeten Methode beurteilt werden. Werte über 39,6 °C, telemetrisch gemessen (eigene Untersuchungen), bzw. 40,4 °C, rektal gemessen (MORRISON und SIMOES, 1962/63), liegen außerhalb des physiologischen Bereiches und sind im Allgemeinen als Fieber anzusprechen. Ist jedoch das Allgemeinbefinden eines Weißbüscheläffchen durch Krankheit beeinträchtigt und dadurch seine Bewegungsaktivität stark reduziert, können bereits auch niedrigere Körpertemperaturwerte Fieber bedeuten.

Vor dem Hintergrund der hier vorliegenden Ergebnisse erscheinen alle mit herkömmlichen Methoden gemessenen Körpertemperaturwerte von Tieren für den intra- und interspezifischen Vergleich als wenig geeignet. Denn nur die durch kontinuierliche Registrierung mittels Telemetrie am ungestörten Versuchstier erzielten Temperaturwerte sind methodisch unverfälscht und entsprechen dem physiologischen "Normalwert". Somit müssen die bisherigen Literaturangaben über die sogenannten mittleren Körpertemperaturen von Tieren in Frage gestellt werden.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Es wird ein neu entwickeltes Telemetriesystem zur kontinuierlichen Registrierung der Körpertemperatur von Versuchstieren vorgestellt:

Der implantierbare UKW-Sender (Länge 34 mm, Durchmesser 13 mm, Gewicht 9 g) hat eine Reichweite von etwa 5 m, seine Funktionsdauer beträgt 6 Monate, und die Meßgenauigkeit liegt bei $\leq 0,1$ °C. Die besonderen Merkmale des Senders sind ein Spannungsregler für eine absolut konstante Betriebsspannung, eine Batteriefassung für den stets sicheren Anschluß der Batterie und die Verkapselung in Glas zum Schutz gegen eindringende Feuchtigkeit.

Der Empfänger ist für 5 Sender ausgelegt, wovon jeweils einer für die anstehende Temperaturmessung (Meßbereich 35-41 °C) eingesetzt wird. Der Empfänger zeichnet sich durch eine elektronische Störungslogik aus, die nicht vom Sender kommende Signale als Störungen erkennt und eliminiert.

Die Weiterverarbeitung der Meßdaten erfolgt durch ein Personalcomputer-System. In dem Rechenprogramm wird auch die Nichtlinearität der Senderkennlinie berücksichtigt.

Das Telemetriesystem wurde zur Untersuchung der Körperkern-temperatur von 2 erwachsenen, männlichen Weißbüscheläffchen (*Callithrix jacchus*) eingesetzt:

Der Verlauf der Körpertemperaturkurve zeigte bei beiden Versuchsaffen eine deutlich ausgeprägte circadiane Rhythmik mit einer Amplitude von 3,5 °C. Bei einer Umgebungstemperatur von 28 °C betrug ihre Körpertemperatur bei Nacht durchschnittlich 35,8 °C; tagsüber schwankte sie in Abhängigkeit von der Bewegungsaktivität zwischen 38-39 °C.

Eine Erhöhung der Umgebungstemperatur auf 30 °C bewirkte bei Tag und Nacht gleichermaßen einen Anstieg der Körper-

kerntemperatur von $0,6^{\circ}\text{C}$. Bei einer Absenkung der Umgebungstemperatur auf 24°C fiel die Körperkerntemperatur nur bei Nacht ab, und zwar bei ad libitum Fütterung um $0,2^{\circ}\text{C}$ und bei Hunger um $1,0^{\circ}\text{C}$.

Körpertemperaturmessungen mit rektal eingeführtem Thermometer führten zu überhöhten Werten.

Die Ruhe-Wach-Temperatur der beiden Weißbüscheläffchen wurde mit $37,7$ bzw $38,4^{\circ}\text{C}$ ermittelt.

Für die positive Relation zwischen Bewegungsaktivität (BZ), Energieumsatzrate (E) und Körperkerntemperatur (KT) errechneten sich Korrelationskoeffizienten von $0,9$ für die Beziehung BZ : E, von $0,9$ für (BZ : KT) und von $0,8$ für E : KT.

SUMMARY

Studies on Body Temperature of Marmosets (*Callithrix jacchus*) by Using a Newly Developed Telemetry System.

A newly developed telemetry system for continuous registration of the body temperature of experimental animals is described:

The implantable VHF-transmitter (length 34 mm, diameter 13 mm, weight 9 g) has a transmission range of about 5 m, its function time is 6 months and its accuracy is $\leq 0,1^{\circ}\text{C}$. The special characteristics of the transmitter are the following: a voltage controller for absolute constant operating voltage, a battery box for reliable battery connection and a glass encapsulation against penetrating moisture.

Respectively one of the 5 transmitters for which the receiver is constructed can be used for the temperature measurement (measurement range $35\text{--}41^{\circ}\text{C}$). Characteristical for the receiver is its electronic logic being able to discover and to eliminate signals as interferences which are not coming from the transmitter.

The measured values are evaluated by a personal computer-system. In the calculating program the non-linear characteristic of the thermistor is considered.

The telemetry system was used for the examination of the body core temperature of 2 adult male Marmosets (*Callithrix jacchus*):

Both monkeys showed in the daily cycle of their body temperature a clear circadian rhythm with an amplitude of $3,5^{\circ}\text{C}$. At an ambient temperature of 28°C their mean body temperature by night was $35,8^{\circ}\text{C}$; during daytime it fluctuated in dependence of the spontaneous activity between $38\text{--}39^{\circ}\text{C}$.

Elevating ambient temperature to 30 °C cause equally by day and night an increase in body temperature of 0,6 °C. After reducing ambient temperature to 24 °C, body temperature fell only by night, in fact 0,2 °C when feeding ad libitum and 1,0 °C when being hungry.

Measurements of body temperature with rectal inserted thermometers cause higher values than telemetric temperature transmitter.

The found out resting-wake-temperature of the two Marmosets was 37,7 respectively 38,4 °C.

The positive correlation between locomotor activity (LA), energy metabolism (E) and body core temperature (BT) was calculated with 0,9 (correlation between LA : E), with 0,9 (LA : BT) and with 0,8 (E : BT).

6 LITERATURVERZEICHNIS

ASCHOFF, J., 1955

Der Tagesgang der Körpertemperatur beim Menschen.

Klin. Wschr. 33, 545-551

ASCHOFF, J., 1962

Spontane lokomotorische Aktivität.

In: Handbuch der Zoologie 8, 11(4), 1-74 (Ed.: J.-G. Helmcke, H. v. Lengerken und D. Strack)

Walter de Gruyter & Co., Berlin

ASCHOFF, J., 1970

Circadian rhythm of activity and of body temperature.

In: Physiological and behavioral temperature regulation (Ed.: J.D. Hardy, A.P. Gagge and J.A.J. Stolwijk)

C.C. Thomas, Springfield, 905-919

ASCHOFF, J. und H. POHL, 1970

Der Ruheumsatz von Vögeln als Funktion der Tageszeit und der Körpergröße.

J. Orn. 111, 38-47

AUSTIN, B.A., D.M. GLAJCHEN and D. HIRSON, 1984

Feasibility of in vivo temperature monitoring using a passive microwave transponder.

Med. & Biol. Eng. & Comput. 22, 187-189

BOLLES, R.C., P.M. DUNCAN, N.E. GROSSEN and C.M. MATTER, 1968

Relationship between activity level and body temperature in the rat.

Psychol. Rep. 23, 991-994

BROWN, A.E., 1909

The tuberculin test in monkeys: with notes on the temperature of mammals.

Proc. Zool. Soc. London i, 81-90

BÜTTNER, D. und H. PLONAIT, 1980

Langfristige Messungen der maximalen, mittleren und Ruheherzfrequenz an Laborratten mittels implantierbarer Telemetriesender.

Zbl. Vet. Med. A 27, 269-278

BÜTTNER, D. and H. PLONAIT, 1984

Long term telemetry of heart rate and body temperature in small laboratory animals.

In: Biotelemetry VIII (Ed.: Kimmich, H.P. and H.-J. Klewe),
Karger-Verlag, Basel, 409-412

BÜTTNER, D. and Franciska WOLLNIK, 1982

Spontaneous short-term fluctuations in the daily pattern of heart rate, body temperature and locomotor activity in the laboratory rat.

Lab. Anim. 16, 319-326

CASTRO DE, J.M. and E. BROWER, 1977

Simple, reliable and inexpensive telemetry system for continuous monitoring of small animal core temperature.

Physiol. Behav. 19, 331-333

CHEVILLARD-HUGOT, Marie-Christine, E.F. MÜLLER and E. KULZER, 1980

Oxygene consumption, body temperature and heart rate in the Coati (Nasua Nasua). Comp. Biochem. Physiol. 65 A, 305-309

DAUNCEY, M.J., D.L. INGRAM, J.E. OSBORNE and J.N. TONER, 1986

Radiotelemetrie of deep body temperature from one piglet within a group.

J. Physiol. 371, 8 P

EASTMAN, C. and A. RECHTSCHAFFEN, 1983

Circadian temperature and wake rhythms of rats exposed to prolonged continuous illumination.

Physiol. Behav. 31, 417-427

ERKERT, H.G. and E. ROTHUSUND, 1981

Differences in temperature sensitivity of the circadian system of homoiotherm and heterotherm.

Comp. Biochem. Physiol. 68 A, 383-390

FLURER, Carola, Regine SCHEID and H. ZUCKER, 1983

Evaluation of a pelleted diet in a colony of Marmosets and Tamarins.

Lab. Animal. Sci. 33, 264-267

FOLK, G.E. and M.A. FOLK, 1964

Continuous physiological measurements.

Annales Academiae Scientiarum Feunicae, A IV, Biologica, 71, 157-173

FRYER, T.B., G.J. DEBOO and C.M. WINGET, 1966

Miniature long-life temperature telemetry system.

J. Appl. Physiol. 21, 295-298

GALLAHUE, E.J., Deborah A. EGNER and Jeanne W. SWEN, 1985

Automated remote temperature measurement in small animals using a telemetry/ microcomputer interface.

Comput. Biol. Med. 15, 103-110

GEORGIEV, J., 1978/79

Influence of environmental conditions and handling on the temperature rhythm of the rat.

In: Biotelemetry (Ed.: H.P. Kimmich)

Karger-Verlag, Basel, 229-234

GINNIS Mc, S.M. and T.P. SOUTHWORTH, 1967

Body temperature fluctuations in the northern elephant seal.

J. Mammal. 48, 484-485

GRÄNZER, W., J. MENNING und H. BRUCHNER, 1973

Ein neu entwickeltes Empfangsgerät und Meßverfahren für die pH-Wert-Telemetrie mit der Endoradiosonde.

Biomed. Techn. 18, 205-208

HAINSWORTH, F.R., 1967

Saliva spreading, activity and body temperature regulation in the rat.

Am. J. Physiol. 212 (6), 1288-1292

HAMPTON JR., J.K., 1973

Diurnal heart rate and body temperature in Marmosets.

Am. J. phys. Anthropol. 38, 339-342

HETHERINGTON, C.M., 1978

Circadian oscillations of body temperature in the Marmoset, *Callithrix jacchus*.

Lab. Anim. 12, 107-108

HEUSNER, A., 1959

Variation nycthémerale de la température centrale chez le rat adapté à la neutralité thermique.

C. R. Soc. Biol. 153, 1258-1261

HOECK, H.N., G. HEINE and G. SCHWARZ, 1985

A device for automatic radio tracking of small mammals using a ground wire antenna in a large enclosure.

In: Nocturnal Mammals: Techniques for study (Ed.: R.P.BROOKS) School of forest resources research paper No.48, Pennsylvania State University, 39-44

HONMA, K. and T. HIROSHIGE, 1978

Endogenous ultradian rhythms in rats exposed to prolonged continuous light.

Am. J. Physiol. 235, R250-R256

KADONO, H. and E. USAMI, 1983

Ultradian rhythms of chicken body temperature under continuous light.

Jpn. J. Vet. Sci. 45, 401-405

KLEIBER, M., 1967

Der Energiehaushalt von Mensch und Haustier.

Paul Parey Verlag, Berlin-Hamburg

KO, W.H. and M.R. NEUMAN, 1967

Implant biotelemetry and microelectronics.

Sciences 156, 351-360

KO, W.H., 1980

Power sources for implant telemetry and stimulation systems.

In: A handbook on biotelemetry and radio tracking (Ed.: Amlaner Jr., C.J. and D.W. MacDonald),

Pergamon Press Ltd., Oxford

KUWABARA, N., K. SEKI and K. AOKI, 1986

Circadian, sleep and brain temperature rhythms in cats under sustained daily light-dark cycles and constant darkness.

Physiol. Behav. 45, 401-405

LEFCOURT, A.M., J. BITMAN, D.L. WOOD and B. STROUD, 1986

Radiotelemetry system for continuously monitoring temperature in cows.

J. Dairy Sci. 69, 237-242

LHYS, L., 1971

Der Wärmehaushalt landwirtschaftlicher Nutztiere.

Gustav Fischer Verlag, Jena

LITTLEDIKE, E.T., D.A. WITZEL and J.L. RILEY, 1979

Body temperature changes in sows during the periparturient period.

Lab. Anim. Sci. 29, 621-624

MACKAY, R.S., 1968

Bio-Medical Telemetry.

John Wiley & Sons, Inc., New York

MAIER, W., Carmen ALONSO and A. LANGGUTH, 1982

Field observations on *Callithrix jacchus*.

Z. Säugetierkd. 6, 334-346

MARVIN, H.N. and W.G. REESE, 1986

Effect of environmental stimuli on the core temperature of nervous dogs.

Physiol. Behav. 36, 903-906

MEINRATH, M. and M.R. D'AMATO, 1979

Interrelationships among heart rate, activity and body temperature in the rat.

Physiol. Behav. 22, 491-498

MILES, G.H., 1962

Telemetering techniques for periodicity studies.

Ann. New York Acad. Sci. 98, 858-865

MORISHIMA, M.S. and C.C. GALE, 1972

Relationship of blood pressure and heart rate to body temperature in baboons.

Am. J. Physiol. 223 (2), 387-395

MORRISON, P., 1962

An analysis of body temperature in the chimpanzee.

J. Mammal. 43, 166-171

MORRISON, P. and J. SIMOES JR., 1962/63

Body temperature in two Brazilian primates.

Bol. Fac. Filos. Cienc. S. Paulo (Zool.) 261 (24), 167-177

MORRISON, P. and Elizabeth H. MIDDLETON, 1967

Body temperature and metabolism in the Pigmy Marmoset.

Folia primat. 6, 70-82

MÜLLER, E.F., 1979

Energy metabolism, thermoregulation and water budget in the Slow Loris (*Nycticebus concang*, Boddaert 1785).

Comp. Biochem. Physiol. 64 A, 109-119

MÜLLER, E.F., 1982

Heart rate in the Slow Loris (*Nycticebus concang*).

Folia primatol. 38, 250-258

MÜLLER, E.F., 1983

Wärme- und Energiehaushalt bei Halbaffen (Prosimiae).

Bonn. zool. Beitr. 34, Heft 1-3

MÜLLER, E.F., J.M.Z. KAMAU and G.M.O. MALOIJ, 1983

A comparative study of basal metabolism and thermoregulation in a folivorous (*Colobus guereza*) and an omnivorous (*Cercopithecus mitis*) primate species.

Comp. Biochem. Physiol. 74 A, 319-322

PETRY, H., 1971

Eine Respirationsanlage zur gleichzeitigen Bestimmung des Gasstoffwechsels mehrerer Versuchstiere.

Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelkd. 27, 285-292

PETRY, H., 1983

Optisch-optoelektronisches Verfahren zur Registrierung der Spontanaktivität von Tieren.

Z. Versuchstierkd. 25, 38-49

PETRY, H., Ingrid RIEHL und H. ZUCKER, 1986

Energieumsatzmessungen an Weißbüscheläffchen (*Callithrix jacchus*).

Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelkd. 55, 214-224

PETRY, H., Ingrid RIEHL und H. ZUCKER, 1987

Spontanaktivität und Freßverhalten von Weißbüscheläffchen (*Callithrix jacchus*).

Z. Versuchstierkd. 29, 15-25

PETRY, H., W. KUGLER und J. MAIER, 1988

Ein Radiotelemetriesystem zur langfristigen, kontinuierlichen Registrierung der Körperkerntemperatur von kleinen Versuchstieren.

Zbl. Vet. Med. 35 A, im Druck

PETRY, H., 1988 a

Verfahren zur konformen optischen Messung der Tag- und Nachtmotilität von Versuchstieren durch simultane Verwendung von infrarotem Dauerlicht und sichtbarem Intervalllicht.

Z. Versuchstierkd. 31, 33-35

PETRY, H., 1988 b

Registrierung der Spontanaktivität von Versuchstieren durch Einsatz moderner Videotechnik.

Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelkd., im Druck

PICCOLIE, A., M. OLSTAD, S. BLANK, J. MICHA and M. HALL, 1982

Biotelemetry technique for monitoring baboon body temperatures.

Lab. Anim. Sci. 32, 438-439

PLONAIT, H., 1974

Schaltungs- und Aufbauvorschläge für implantierbare Telemetriesender.
Biomed. Techn. 19, 240-244

PLONAIT, H. und H.-J. REINHARD, 1977

Erfassung und Auswertung biologischer Meßwerte bei Verwendung implantierbarer Miniatursender und elektronischer Datenverarbeitung.
Züchtungskunde 49, 369-377

PLONAIT, H. and D. BÜTTNER, 1984

Elektrocardiogram and temperature telemetry equipment for use in laboratory animals permitting long time measurement and improved noise suppression.
Biomed. Techn. 29, 13-17

POOLE, S. and J.D. STEPHENSON, 1977

Core temperature: some shortcomings of rektal temperature measurements.
Physiol. Behav. 18, 203-205

RENNER-GORLAS, A., 1985

Die Rhythmik der Körperkerntemperatur von Legehennen unter verschiedenen Haltungsbedingungen.
Diss. med. vet. Freie Univ. Berlin

RICHTER, C.B., 1984

Biology and diseases in Callitrichidae.
In: Primates (Ed.: C.B. Richter, N.D.M. Lehner and R.V. Henrickson),
Academic Press Inc., 1984, 353-379

RILEY, J.L., 1970

Radio telemetry system for transmitting deep body temperatures.
Cornell Vet. 60, 265-273

RUF, T., 1986

Körpertemperaturrhythmen und Torpor beim Dschungarischen Zwerghamster
Phodopus sungorus (PALLAS).
Dipl. Arbeit FB Biologie, Univ. Marburg

RUIZ, J.C. and O.J. COLILLAS, 1962

Ciclo ovarico del Marmoset comun.

Data. Physiol. Lat. Amer. 32 (1), 59-61

SAMBRAUS, H.H., 1980

Telemetrische Erfassung der Vaginaltemperatur von Kühen.

Dtsch. tierärztl. Wschr. 87, 292-294

SCHEUNERT, A. und A. TRAUTMANN, 1976

Lehrbuch der Veterinär-Physiologie.

6.Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin-Hamburg

STÖHR, W., 1982

Telemetrische Langzeituntersuchungen der Herzfrequenz von Tupaia belangeri: Basalwerte sowie phasische und tonische Reaktionen auf nichtsoziale und soziale Belastungen.

Diss. Biol. Univ. Bayreuth

STONG, C.L., 1968

The amateur scientist. Little radio transmitters for short range telemetry.

Scientific American 218, 128-134

UMBACH, Doris, 1980

Untersuchungen an der telemetrische gemessenen Herzfrequenz und Körpertemperatur zur Habituation der Ratten des Stammes BS/ZTM und SHR/N an nicht soziale, methodisch bedingte Stressoren.

Diss. med. vet. Medizinische Hochschule Hanover

WAHL, G., 1987

Minispione VI.

2.Auflage, Frech-Verlag, Stuttgart

WIESNER, H., 1987

Persönliche Mitteilung.

WINGET, C.M. and T.B. FRYER, 1966

Telemetry system for the acquisition of circadian rhythms data.

Aerospace Medicine 37, 800-803

WINGET, C.M., D.H. CARD and N.W. HETHERINGTON, 1978

Circadian oscillations of deep-body temperature and heart rate in a primate (*Cebus albafrons*).

Aerospace Medicine 39, 350- 353

WINGET, C.M., C.W. DE ROSHIA, J. VERNIKOS-DANELIS, W.S. ROSENBLATT and N.W. HETHERINGTON, 1977

Comparison of circadian rhythms in male and female humans.

Waking and Sleeping 1, 359-363

Herrn Prof.Dr.H. Zucker möchte ich für die Gewährung von Arbeitsmöglichkeiten zur Durchführung meiner Versuche sowie die angenehmen Arbeitsbedingungen im Institut sehr herzlich danken.

Herrn Prof.Dr.Dr.habil.H. Petry danke ich herzlich für die Überlassung des Themas und für Hilfe und Betreuung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Herrn Dr.W. Kugler danke ich sehr für die Entwicklung und Realisierung der Elektronik für das Telemetriesystem.

Ebenso gilt mein aufrichtiger Dank Frau Prof.Dr.U. Matis und der Chirurgischen Tierklinik der Universität München für die Durchführung der chirurgischen Arbeiten.

Herrn Prof.Dr.F. Deinhard danke ich für die Überlassung der Versuchstiere aus der Zucht des Max von Pettenkofer-Instituts für Hygiene und Medizinische Mikrobiologie der Universität München.

Bedanken möchte ich mich auch bei Frau I. Riehl für die Hilfe bei der Durchführung der Versuche.

LEBENS LAUF

Johann Georg Maier

14. 9. 1959	geboren in Immenstadt/Allgäu Vater: Adolf Maier, Lehrer Mutter: Annemarie Maier, geb. Rößner
1966 - 1970	Besuch der Grundschule in Augsburg - Göggingen
1970 - 1980	Besuch des Holbein-Gymnasiums in Augsburg
27. 6. 1980	Abitur
1980 - 1981	Wehrdienst
1981 - 1987	Studium der Tiermedizin an der Lud- wig-Maximiliansuniversität München
29. 4. 1987	Staatsexamen
19. 5. 1987	Approbation
seit 5.1987	Anfertigung der Dissertation am In- stitut für Physiologie, Physiologi- sche Chemie und Ernährungsphysiolo- gie der Tiermedizinischen Fakultät der Universität München.
6.87 - 9.87	Anstellung als wissenschaftliche Hilfskraft am obigen Institut

